

**SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
BÖLCSESZETTUDOMÁNYI KAR
NEVELÉSTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA
AZ OKTATÁS ÉS NEVELÉS PSZICHOLÓGIAI ÉS KOGNITÍV IDEGTUDOMÁNYI
KÉRDÉSEI DOKTORI PROGRAM**

ROKSZIN ADRIENN ARANKA

**A VIZUÁLIS KATEGORIZÁCIÓ IDEGRENDSZERI HÁTTERÉNEK
VIZSGÁLATA 7-15 ÉVES TIPIKUS FEJLŐDÉSŰ GYERMEKEK, FELNŐTTEK,
ILLETVE FEJLŐDÉSI DISZLEXIÁSOK KÖRÉBEN**

PhD-értekezés

Témavezető:

Dr. Csifcsák Gábor

egyetemi adjunktus



SZEGED

2017

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	5
1 A VIZUÁLIS KATEGORIZÁCIÓ ÉS VIZUÁLIS FELDOLGOZÁS IDEGRENDSZERI HÁTTERE.....	10
1.1 A vizuális feldolgozás idegrendszeri hátterére, működésére vonatkozó elméletek, modellek	11
1.1.1 A vizuális feldolgozás hagyományos modellje, a ventrális pálya.....	11
1.1.2 A vizuális feldolgozás a magnocelluláris és parvocelluláris pályák működésén keresztül	12
1.2 Az elektroencefalográfia (EEG) módszere a vizuális kategorizáció és feldolgozás vizsgálatában	19
1.2.1 A vizuális eseményfüggő komponensek	19
1.2.2 A magnocelluláris és parvocelluláris csatornák és az egyes eseményfüggő komponensek kapcsolata	24
1.3 Összefoglalás	28
2 A VIZUÁLIS KATEGORIZÁCIÓ ÉS VIZUÁLIS FELDOLGOZÁS FEJLŐDÉSE.....	30
2.1 Idegrendszeri változások az iskoláskor alatt	33
2.2 A vizuális kategorizáció fejlődésének elektrofiziológiai korrelátumai	36
2.3 A magnocelluláris és parvocelluláris vizuális csatornák fejlődése	38
2.3.1 A magnocelluláris és parvocelluláris pályák fejlődésének elektrofiziológiai vizsgálata.....	39
2.4 Összefoglalás	43
3 A FEJLŐDÉSI DISZLEXIA ELMÉLETI MEGKÖZELÍTÉSEI	45
3.1 Mi a diszlexia?.....	45
3.2 A fejlődési diszlexia kialakulásának főbb elméleti megközelítései	47
3.3 A magnocelluláris/dorzális rendszer deficitjét feltételező elméletek	50
3.4 Összefoglalás	56
4 A VIZSGÁLATSOROZAT FELÉPÍTÉSE, CÉLJAI	58
4.1 Pilot viselkedéssel vizsgálat	58
4.2 Elektrofiziológiai vizsgálati sorozat	58
4.2.1 Első vizsgálat.....	58

4.2.2	Második vizsgálat.....	59
4.2.3	Harmadik vizsgálat.....	60
5	A VIZUÁLIS KATEGORIZÁCIÓS FOLYAMATOK VISELKEDÉSES VIZSGÁLATA A MAGNO- ÉS PARVOCELLULÁRIS KÉREGALATTI LÁTÓPÁLYÁK FEJLŐDÉSÉNEK TÜKRÉBEN	62
	PILOT VIZSGÁLAT.....	62
5.1	A pilot vizsgálat célkitűzései és hipotézisei	62
5.2	Módszerek	62
5.2.1	A pilot vizsgálat mintája	62
5.2.2	Ingerek és kísérleti elrendezés.....	63
5.2.3	Statisztikai eljárás.....	65
5.3	Eredmények	66
5.3.1	A képtípus hatása a pontosságra és a reakcióidőre.....	66
5.3.2	Az életkor hatása a pontosságra és a reakcióidőre	67
5.3.3	Az életkor és a képtípus interakciójának hatása a pontosságra és a reakcióidőre..	68
5.4	A pilot vizsgálat eredményeinek megvitatása	70
6	AZ ELEKTROFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATSOROZAT MÓDSZERTANA	74
6.1	A vizsgálatsorozat mintája.....	74
6.2	Ingerek és kísérleti elrendezés	75
6.3	EEG regisztráció és adatelemzés	78
6.4	Statisztika.....	79
7	ELSŐ VIZSGÁLAT	81
	A VIZUÁLIS KATEGORIZÁCIÓ ELEKTROFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA ALACSONY ÉS MAGAS TÉRBELI FREKVENCIÁJÚ KOMPLEX KÉPEK SEGÍTSÉGÉVEL.....	81
7.1	Célkitűzések és hipotézisek	81
7.2	Módszerek	82
7.2.1	Résztvevők	82
7.2.2	Ingerek és kísérleti elrendezés.....	82
7.2.3	EEG regisztráció és adatelemzés.....	82
7.2.4	Statisztikai eljárás.....	84
7.3	Eredmények	84

7.3.1	Viselkedéssel kapcsolatos adatok	84
7.3.2	Elektrofiziológiai adatok	86
7.3.2.1	Pontról-pontra elemzés	86
7.3.2.2	A skalpeloszlások vizsgálata	90
7.3.2.3	A latencia értékek elemzése	92
7.4	Az első vizsgálat eredményeinek megvitatása	93
8	MÁSODIK VIZSGÁLAT	
A TÉRBELI FREKVENCIÁKRA VALÓ ÉRZÉKENYSÉG VÁLTOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA KOMPLEX KÉPEK KATEGORIZÁCIÓJA SORÁN 7 ÉS 15 ÉVES KOR KÖZÖTT		99
8.1	Célkitűzések és hipotézisek	99
8.2	Módszerek	100
8.2.1	Résztvevők	100
8.2.2	Ingerek és kísérleti elrendezés.....	101
8.2.3	EEG regisztráció és adatelemzés.....	101
8.2.4	Statisztikai eljárás.....	102
8.3	Eredmények	102
8.3.1	Viselkedéssel kapcsolatos adatok	102
8.3.2	Elektrofiziológiai adatok	106
8.3.2.1	P1 komponens.....	108
8.3.2.2	N1 komponens	113
8.4	A második vizsgálat eredményeinek megvitatása	120
8.4.1	Az életkor és a térbeli frekvenciák hatása a viselkedéssel kapcsolatos változókra	121
8.4.2	Az életkor hatása az eseményfüggő potenciálokra.....	122
8.4.3	A térbeli frekvenciák hatása az eseményfüggő potenciálokra	123
9	HARMADIK VIZSGÁLAT	127
ALACSONY ÉS MAGAS TÉRBELI FREKVENCIÁJÚ INFORMÁCIÓK FELDOLGOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA DISZLEXIÁS ÉS TÍPIKUS FEJLŐDÉSŰ GYERMEKEK KÖRÉBEN		127
9.1	Célkitűzések és hipotézisek	127
9.2	Módszerek	128
9.2.1	Résztvevők	128
9.2.2	Ingerek és kísérleti elrendezés.....	128

9.2.3	EEG regisztráció és adatelemzés.....	128
9.2.4	Statisztikai eljárás.....	129
9.3	Eredmények	130
9.3.1	Viselkedéses adatok	130
9.3.2	Elektrofiziológiai adatok	132
9.4	A harmadik vizsgálat eredményeinek a megvitatása.....	137
10	ÖSSZEGZÉS ÉS TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK	142
	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	148
	IRODALOMJEGYZÉK.....	149
	ÁBRAJEGYZÉK	168
	TÁBLÁZATJEGYZÉK.....	172

BEVEZETÉS

A mindennapokban, a környezetünkkel való interakció során, például egy megbeszélés alatt, bevásárlás alkalmával, vagy éppen az autókban ülve a csúcsforgalomban, agyunkat hatalmas mennyiségű szenzoros információ, a helyzet szempontjából releváns és kevésé releváns inger éri. Ahhoz, hogy a hétköznapiakban megfelelően tudjunk működni és megfelelő döntéseket hozunk, stabil információfeldolgozó és kategorizáló funkciókra van szükségünk. Ennek megfelelően, környezetünk vizuális ingereinek jelentéssel bíró rendszerezése megismerő funkciónk, és így komplex viselkedésünk egyik fontos alapja (Freedman & Miller, 2008). Bár egy alapvető funkcióról van szó, és agyunk szinte rutinszerűen végzi, a megismerési folyamatok széles skáláját felöleli az észleléstől egészen a kivitelező funkciókig (Smith & Jonides, 2000, idézi: Kéri & Antal, 2000). Mégis fontos kiemelni, hogy egy adott kategóriába történő besorolás minden esetben egy konkrét tárgyra irányul, amelynek perceptuális jegyei meghatározó információt hordoznak (Ragó, 2011). A kategorizáció folyamata során egyfelől az egymástól fizikailag különböző dolgokat csoportosítjuk, vagyis ugyanabba a kategóriába tartozóként kezeljük, másrészt a fizikailag hasonló dolgokat különítjük el egymástól (Kovács, 2003).

A disszertációban a vizuális kategorizáció idegrendszeri hátterének vizsgálatát tűztük ki célul, így az ezzel kapcsolatos elméletek, vizsgálatok bemutatására fókuszálunk. A hagyományos elméletek a vizuális feldolgozás és tárgyészlelés hátterében egy hierarchikus elrendeződést képzelnek el, melyben az aktiváció az alacsonyabb szintű (posztérieur) kérgi területek felől a magasabb szintű (anterior) kérgi területek felé terjed („bottom-up” információáramlás) (Grill-Spector & Malach, 2004; Logothetis & Sheinberg, 1996). Egyre több bizonyítékot találunk azonban, amely arra utal, hogy a vizuális tárgyfelismerést felülről lefelé ható ún. top-down folyamatok is befolyásolják és segítik (Gilbert & Li, 2013). Ilyen hatás lehet például az előzetes tudásunk, elvárásunk, vagy akár a kontextuális információ facilitáló hatása is (Bar, 2004; Biederman, Mezzanotte, & Rabinowitz, 1982). A top-down hatásokra vonatkozó tanulmányok közül néhány a magnocelluláris (M) és parvocelluláris (P) kéregalatti csatornák működésére fókuszál, melyek az alacsony (ATF), illetve magas térbeli frekvenciákra (MTF) érzékenyek, és így egy térbeli frekvencia alapú, az ingerek durva, globális feldolgozásától a finomabb, lokális részletgazdagabb feldolgozás felé haladó modellt javasolnak (Bar, 2003; Bullier, 2001). Míg a vizuális input globális jellemzőit, úgy mint a kép

elrendezését, vagy az objektumok alakját főként az alacsony térbeli frekvenciájú információ és az M-rendszer aktivitása határozza meg, addig a magas térbeli frekvenciákra érzékeny parvocelluláris neuronok a stimulus részleteivel ún. lokális tulajdonságaival, részletekkel kapcsolatos információt szállítják a vizuális kéreg felé.

A disszertációban egy viselkedéses pilot és három elektrofiziológiai kutatást mutatunk be. Pilot vizsgálatunk fő célja az alkalmazni kívánt ingerek, módszereket tesztelése. Elektrofiziológiai vizsgálatunk első szakaszában a vizuális kategorizáció idegrendszeri hátterét, a magnocelluláris és parvocelluláris csatornák kategorizációban betöltött szerepét vizsgáljuk egészséges felnőttekben. Ezt követően 7-15 éves gyermekek bevonásával a folyamat életkori változásai kívánjuk feltérképezni, végezetül pedig fejlődési diszlexiások kategorizációs képességeit, az M- és P-csatornák működését járjuk körbe. Eredményeink fontosak lehetnek a pedagógia, pszichológia és az idegtudomány, továbbá a gyakorlatban dolgozó fejlesztő szakemberek számára egyaránt, hiszen az általunk alkalmazott vizsgálati elrendezésnek és módszernek köszönhetően pontosabb képet kaphatunk a tipikus fejlődés mellett atipikus fejlődést mutató gyermekek egy csoportjáról, a fejlődési diszlexiások vizuális feldolgozásáról. A vizsgálat az általunk alkalmazott ingereknek köszönhetően hiánypótló, így a szakirodalomban olvasható elméletek pontosítása és ellentétek feloldása mellett akár diszlexiás gyermekek fejlesztésének megtervezését is segíthetik.

Mareshal és Quinn (2001) szerint az, ahogyan csoportosítjuk vagy kategorizáljuk a különböző elemeket meghatározza, hogy hogyan tanuljuk meg az egyes objektumok közötti kapcsolatot, és hogy ezeket a kapcsolatokat hogyan terjesztjük, általánosítjuk az új elemek esetén. Csecsemőkorban és kisgyermekkorban kategorizációs képességünk hatalmas fejlődésen megy keresztül, így a vizsgálatok többsége is erre az időszakra fókuszál. Érdekes módon azonban bármennyire is alapvető funkcióról van szó, újabb vizsgálatok rámutattak arra, hogy még serdülőkorban is megfigyelhetők életkori változások (Batty & Taylor, 2002). Mindezek miatt a disszertáció egyik fókuszában a 7-15 éves, tipikus fejlődésű iskoláskorú gyermekek vizsgálata áll. Fontos hangsúlyozni, hogy a vizsgálatok többnyire mesterséges ingereket alkalmaznak, ezzel ellentétben, vizsgálatunkban komplex képek kategorizációját végzik, így ingereinknek köszönhetően akár választ kaphatunk arra a kérdésre is, hogy a vizuális feldolgozás során, milyen típusú információ dominál az általunk vizsgálat életkorokban abban az esetben, ha a bemutatott ingerek jelentéssel bírnak.

A tipikus fejlődés vizsgálata fontos, hiszen az eredmények segítségünkre lehetnek abban, hogy könnyebben megértsük az atipikus működések hátterében meghúzódó folyamatokat,

hiszen több fejlődési zavarban is igazolták a magnocelluláris/dorzális rendszer gyengébb, károsodott működését, mint például autizmus spektrumzavarba (Deruelle, Rondasn, Gepner, & Tardif, 2004; Sutherland & Crewther, 2010), Williams-szindrómában (Atkinson et al., 1997), vagy fejlődési diszlexiában (Demb, Boynton, & Heeger, 1998a; Demb, Boynton, Best, & Heeger, 1998b; Eden, VanMeter, Rumsey, & Maisog, 1996; Gori Seitz, Ronconi, Franceschini, & Facoetti, 2016; Hansen, Stein, Orde, Winter, & Talcott, 2001; Livingstone, Rosen, Drislane, & Galaburda, 1991; Talcott et al., 1998). Kutatásunkban és a disszertációban a fejlődési diszlexiával foglalkozunk részletesebben. A dolgozatban igyekszünk hangsúlyozni a diszlexia összetettségét, melyet (a tünetek sokszínűsége mellett) mi sem bizonyít jobban, mint hogy a nagyszámú vizsgálatok, illetve megközelítések ellenére továbbra sem tisztázott, mi állhat kialakulásának a hátterében. A szakirodalomban számos elméletet találunk a diszlexia kialakulására, illetve a háttérben meghúzódó folyamatok magyarázatára vonatkozóan, melyek közül talán a legismertebbek a fonológiai deficit elmélete (Bradley & Bryant, 1978, idézi: Ramus et al., 2003), a gyors hallási feldolgozási deficit elmélete (Tallal, 1980, 2004), a cerebelláris (kisagyi) deficit elmélet (Nicolson, Fawcett, & Dean, 2001), de találunk olyan megközelítéseket is, melyek a vizuális figyelem terjedelmének fontosságát hangsúlyozzák (Bosse, Taintuier, & Valdois, 2007), illetve egyre nő az ún. többkomponensű (pl.: (Wolf & Bowers, 1999), valamint a különböző modalitásközi kapcsolódási problémákat (Blau et al., 2010) feltételező elképzelések száma is. Több vizsgálat is igazolta a vizuális rendszer, azon belül is magnocelluláris/dorzális rendszer érintettségét fejlődési diszlexiában (Demb, et al., 1998a; Demb et al., 1998b; Eden et al., 1996; Gori et al., 2016; Hansen et al., 2001; Livingstone et al., 1991), melynek vizsgálatára mi is nagy hangsúlyt fektetünk dolgozatunkban, hiszen az általunk alkalmazott komplex vizuális ingereknek köszönhetően kísérletet teszünk az ellentmondások feloldása, az elméletek pontosítása felé.

A disszertációban lépéseket teszünk a kognitív idegtudomány és kognitív pszichológia, valamint a neveléstudomány közelebb hozásához, még ha ezek jelen esetben csak kis lépések is lesznek, hiszen az idegtudomány eszközeivel, pontosabban az elektroencefalográfia (EEG) módszerével kíséreljük meg feltárni a vizuális kategorizáció és információfeldolgozás hátterében meghúzódó neurális folyamatok életkori változásait 7-15 éves tipikus fejlődésű gyermekek és fejlődési diszlexiások körében. A kognitív idegtudomány és a pedagógia kapcsolata egyre inkább megerősödni látszik, és egy új, feltörekvő tudományág kialakulásához vezet, melyre a nemzetközi szakirodalomban az „educational neuroscience” kifejezést találhatjuk (Szűcs & Goswami, 2007). A hazai szakirodalomban Csépe Valéria

(2008) a Neuro-Ped kifejezéssel is illeti, és úgy gondolja, fő célja kell legyen, hogy feltárja a különböző tanítási és fejlesztési módszerek és a gyermekek kognitív fejlődési típusai közötti kölcsönhatást. A későbbiekre nézve fontos észrevennünk, hogy a különböző idegtudományi eszközök nem csupán a tipikus, vagy atipikus fejlődés és a háttérben meghúzódó idegi struktúrák és működések vizsgálatára alkalmasak, hanem a különböző tanítási módszerek, fejlesztések idegrendszerre gyakorolt hatása is nyomon követhető, hiszen újabb vizsgálatok alapján úgy tűnik, hogy az alkalmazott tanítási módszer, fejlesztések, tréningek hatására az agy funkciói eltérően alakulhatnak (Csépe, 2008). Megjegyezzük azonban, hogy jelenleg az idegtudományi vizsgálatok eredményei még nem járnak közvetlen osztálytermi alkalmazással, kis lépésekben azonban bővítheti tudásunkat a tanulás folyamatáról, a fejlesztések neurális hatásairól, a tipikus fejlődéssel vagy az egyes tanulási zavarokkal kapcsolatban (Szűcs & Goswami, 2007).

A disszertáció elméleti háttérének ismertetése az elektrofiziológiai vizsgálatssorozat felépítését követi, ennek megfelelően három nagy fejezetre tagolódik. Az első fejezet a vizuális kategorizáció témakörébe nyújtunk betekintést különösen annak idegrendszeri háttérének áttekintésével az alacsony, illetve magas térbeli frekvenciák vizuális tárgyészlelésben betöltött szerepével. A második fejezetben a vizuális kategorizáció, illetve a magnocelluláris és parvocelluláris pályák életkori változásait taglaljuk csecsemőkortól egészen felnőttkorig. A harmadik fejezetben a fejlődési diszlexiával kapcsolatos megközelítéseket, kutatási eredményeket ismertetjük, különös tekintettel a magnocelluláris/dorzális rendszer károsodását feltételező megközelítésekre. A negyedik fejezetben a vizsgálatssorozat felépítését, céljait vázoljuk fel. Az ötödik fejezetben a pilot vizsgálatunkat és annak eredményeit mutatjuk be. A hatodik fejezetben az elektrofiziológiai vizsgálatssorozat a módszertanát ismertetjük. A további fejezetekben vizsgálatssorozatunk eredményeit részletezzük; a hetedik fejezetben az alacsony és magas térbeli frekvenciák vizuális kategorizációs folyamatokban és információfeldolgozás betöltött szerepükkel kapcsolatos eredményeinket mutatjuk be, majd ezt követi az iskoláskorban bekövetkező életkori változások tárgyalása, a kilencedik fejezet pedig a diszlexiások körében végzett vizsgálat eredményeit tartalmazza. A disszertációt az összegzés és a további kutatási lehetőségeket kijelölő fejezet zárja.

A fejezetek közül néhány alapját korábban megjelent önálló, vagy társszerzővel írt munka alkotja. Az Iskolakultúra folyóiratban megjelent tanulmányban (Rokszin, 2013) pilot vizsgálatunk eredményeit ismertettük, melyben a 7-15 éves gyermekek viselkedéses adatainak

(reakcióidő és pontosság) összehasonlítását mutattuk be egy fölérendelt, állat-jármű kategorizációs feladat végzése során, alacsony és magas térbeli frekvenciájú képeket alkalmazva. A vizsgálat fő célja volt az alkalmazott ingerek és a kísérleti elrendezés tesztelése. A vizuális kategorizáció és vizuális feldolgozás fejlődésének idegrendszeri alapjait összefoglaló szakirodalmi áttekintést szintén az Iskolakultúra folyóiratban publikáltuk (Rokszin & Csifcsák, 2015). A vizuális kategorizációs folyamatok elektrofiziológiai vizsgálatáról az alacsony és magas térbeli frekvenciájú képek, illetve a top-down hatások szerepéről felnőttkorban az International Journal of Psychophysiology nemzetközi folyóiratban számoltunk be (Rokszin, Győri-Dani, Nyúl, & Csifcsák, 2016). A folyamat fejlődésére vonatkozó eredményeinket összefoglaló tanulmány (Rokszin, Győri-Dani, Bácsi, & Csifcsák, elbírálás alatt) a Journal of Experimental Child Psychology folyóiratban vár elbírálásra. A diszlexiások bevonásával végzett vizsgálat eredményeinek publikálása további célunk.

2013 márciusától a Nemzeti Kiválóság Program keretén belül Apáczai Csere János Doktoranduszi Ösztöndíjban részesültem, ahol kutatási témám a „A vizuális kategorizáció fejlődésének elektrofiziológiai vizsgálata”, tehát szoros kapcsolatban áll a disszertáció témájával.

1 A VIZUÁLIS KATEGORIZÁCIÓ ÉS VIZUÁLIS FELDOLGOZÁS IDEGRENDSZERI HÁTTERE

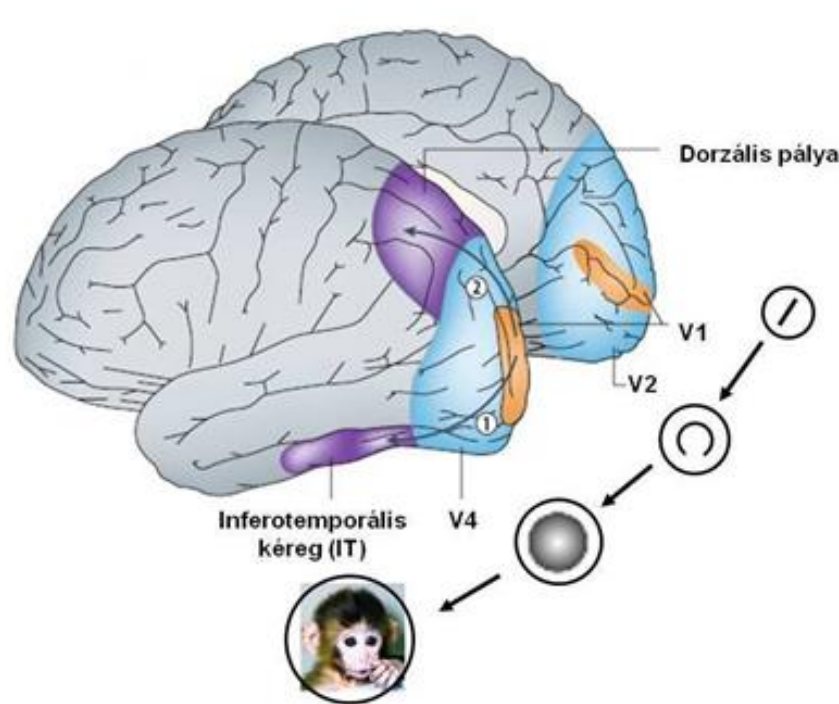
A különböző idegtudományi mérőeszközök, képalkotó és pszichofiziológiai mérőeljárások fejlődésének köszönhetően az utóbbi néhány évtizedben számos vizsgálat irányult a tárgyészlelés és vizuális kategorizáció idegrendszeri hátterének feltárására, mégis számos kérdés maradt tisztázatlan továbbá több elmélet vár pontosításra. Érthető, hiszen egy olyan funkcióról beszélünk, mely látszólag nagyon egyszerű, mégis a megismerési folyamatok széles spektrumát foglalja magába. Ennek megfelelően a vizuális áréák mellett az agy számos más területe is involválódik egy adott inger azonosítása, kategorizálása során. A folyamat során fontos szerep jut az okcipitotemporális területeknek, melyre a szakirodalomban gyakran ventrális kérgi területként hivatkoznak (felépítésére a későbbiekben részletesen kitérünk), és mely a formák és színek észleléséért felelős, valamint az okcipitoparietális (ún. dorzális) kérgi területnek, mely a mozgás és térbeli lokalizáció elemzését végzi (Mishkin, Ungerleider, & Macko, 1983; Van Essen, Anderson, & Felleman, 1992). A temporális kérgi területekhez köthető az inger, a környezet elemeinek leképezése a szemantikus memóriába (Damasio, Grabowski, Tranel, Hichwa, & Damasio, 1996), a prefrontális kérgi területekhez pedig a kategorizáció folyamatának magasabb szintű koordinációja, döntéshozatal és tervezés folyamata rendelhető (Ganis, Schendan, & Kosslyn, 2007; Smith & Jonides, 1999). A tárgyészleléssel foglalkozó kutatások többsége a hátulsó, okcipitális területekre koncentrál, a legújabb elméletek azonban egyre inkább arra hívják fel a figyelmet, hogy a frontális területek szintén aktív szerepet játszanak a körülöttünk lévő vizuális ingerek felismerésében, azonosításában (Bar, 2004; Bar et al., 2006).

A fejezet első nagyobb egységében a vizuális feldolgozás neurális hátterére és működésére vonatkozó főbb elméleteket, modelleket és az ezekkel kapcsolatos eredményeket vesszük sorra. Ezt követően pedig a vizuális kategorizáció és információfeldolgozás elektrofiziológiai korrelátumait tekintjük át, a magnocelluláris és parvocelluláris látópályák és az egyes eseményfüggő komponensek kapcsolatára fókuszálva.

1.1 A vizuális feldolgozás idegrendszeri hátterére, működésére vonatkozó elméletek, modellek

1.1.1 A vizuális feldolgozás hagyományos modellje, a ventrális pálya

A témával kapcsolatban egyre több olyan elméletet találunk, melyek a vizuális információ parallel feldolgozását feltételezik, vagyis, hogy látórendszerünk a körülöttünk lévő vizuális környezet és ingerek különböző jellemzőit egyszerre, egymástól függetlenül elemzi (Benedek, Janáky, Benedek, & Kéri, 2006). A szakirodalomban legtöbbször a korábban már említett ventrális és dorzális pályák szerepéről olvashatunk, hiszen úgy tűnik, hogy, míg a dorzális pálya főként a vizuális inger lokalizálásával, illetve a mozgásészleléssel kapcsolatos, addig a ventrális pályának a tárgyak azonosításában van fontos szerepe (Mishkin et al., 1983). A képességünk, melynek köszönhetően képesek vagyunk az egyes vizuális ingerek, formák, tárgyak azonosítására egy kiterjedt neuronhálózatra támaszkodni, mely a retinától egészen a prefrontális kéregig terjed és magába foglalja a ventrális pályát. Ezen pálya egy hierarchikus felépítéssel jellemezhető, hiszen a vizuális feldolgozás hagyományos előremutató modellje szerint a vizuális információ elemzése az elsődleges látókéregből az ún. V1 területből az inferotemporális kéregbe (IT) jutva egyre komplexebb módon történik (1. ábra). A V1 terület neuronjai olyan egyszerű vonásokra érzékenyek, mint a térbeli orientáció vagy retinotopikus helyzet (Hubel & Wiesel, 1968), később azonban, ahogy halad tovább az információ a V2 és V4 területek felé, a sejtek egyre összetettebb tulajdonságokra, vonások kombinációira reagálnak, míg elérve az inferotemporális kéreg, komplex ingerekre tüzelő sejteket találunk (bonyolult tárgyak, kategóriák, emberi és állati arcok). A hierarchikus felépítésnek megfelelően tehát a magasabb rendű területek neuronjai egyre bonyolultabb, összetettebb reprezentációkat kódolnak az alacsonyabb rendű területekről származó információk összevonásával (Logothetis & Sheinberg, 1996; Rousselet, Thorpe, & Fabre-Thorpe, 2004).



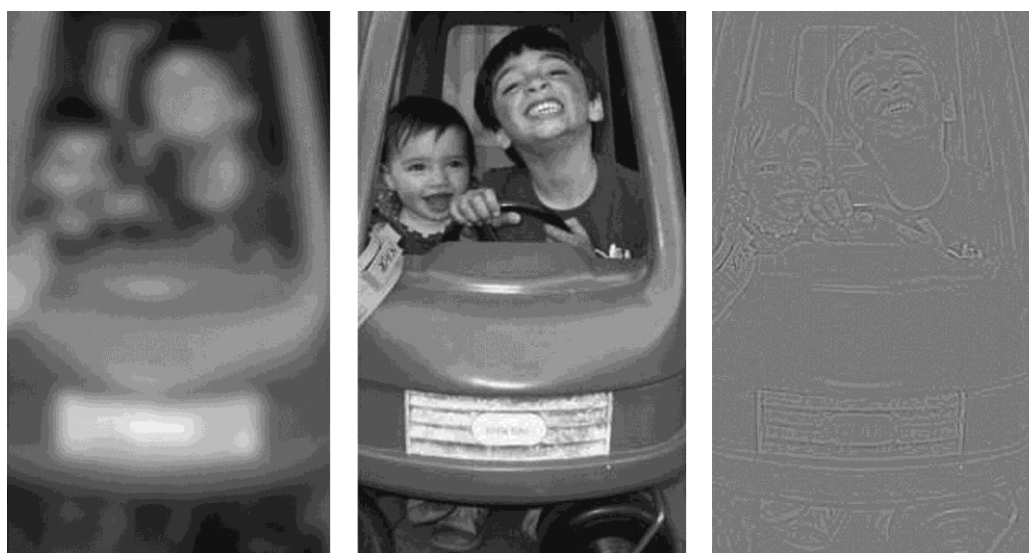
1. ábra: Az ábra a ventrális pálya felépítését és működését ábrázolja a vizuális feldolgozás hagyományos, előremutató modellje szerint. Ahogyan az ábrán is látható, hogy a ventrális pályában a V1-től az inferotemporális kéreg felé haladva a sejtek, egyre komplexebb ingerekre reagálnak (az ábra az alábbi közlemény alapján lett megszerkesztve: Rousselet et al., 2004)

A különböző képalkotó eljárásoknak köszönhetően a ventrális pálya később aktiválódó területei között olyan régiókat is sikerült azonosítani, amelyek bizonyos specifikus ingerekre reagálnak, mint például arcok (fusiform face area – FFA; Kanwisher, McDermott, & Chun, 1997; Puce, Allison, Gore, & McCarthy, 1995), helyek, helyszínek képeire, tájképre, épületekre (parahippocampal place area – PPA; Epstein & Kanwisher, 1998; Epstein, Harris, Stanley, & Kanwisher, 1999), vagy emberi testek, testrészek képeire (extrastiate body area – EBA; Downing, Jiang, Shuman, & Kanwisher, 2001).

1.1.2 A vizuális feldolgozás a magnocelluláris és parvocelluláris pályák működésén keresztül

Szintén népszerűnek mondhatók azok az elméletek, melyek a magnocelluláris (M) és parvocelluláris (P) pályák működésén keresztül igyekeznek leírni a minket érő vizuális információ korai feldolgozását. A felosztás az ún. oldalsó térdestest (corpus geniculatum

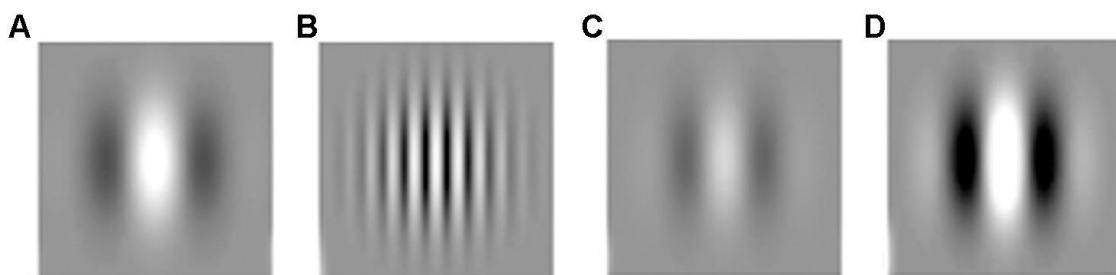
laterale - CGL) sejtrétegeiből indul ki, melyek bemenetét a retina különböző méretű ganglionsejtszályaiból adják, mely alapján megkülönböztethetünk magnocelluláris és parvocelluláris sejteket és a hozzájuk tartozó látópályákat. Számos különbséget figyelhetünk meg, hiszen többek között a vizuális információ más-más tulajdonságaira érzékenyek, valamint feldolgozási, vezetési sebességük is eltérő. Mivel az M-pálya sejteinek receptív mezője nagy, így térbeli felbontóképessége is rosszabb, továbbá nagyobb érzékenységet mutat az alacsony térbeli frekvenciájú (példa: 2. ábra bal oldali része), dinamikus, akromatikus ingerekre, valamint kontrasztérzékenysége és idői felbontóképessége jobb. Ezzel ellentétben a P-pálya sejtei kisebb receptív mezővel rendelkeznek, így ezt a pályát a jó térbeli felbontóképesség jellemzi, a magas térbeli frekvenciájú (példa: 2. ábra jobb oldali része) és statikus ingerekre mutat érzékenységet, továbbá kiemelendő a színészlelésben betöltött szerepe is (Kaplan & Shapley, 1986; Livingstone & Hubel, 1987, 1988).



2. ábra: Az ábrán az eredeti kép alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú változatai láthatók (forrás: Bar, 2004).

Mivel dolgozatunk középpontjában különböző térbeli frekvenciák vizuális feldolgozásban betöltött szerepe központi, így fontos ezen fogalom tisztázása. Ahogyan azt a későbbiekben majd részletezni fogjuk a vizsgálatokban főként mesterséges ingereket, gyakran szinuszos rácsmintázatokat (3. ábra) alkalmaznak a magnocelluláris és parvocelluláris pályák, valamint az alacsony és magas térbeli frekvenciák feldolgozásának vizsgálatára. A rácsmintázat szinuszos, mert a sötét és világos sávok/foltok intenzitása fokozatosan, szinuszos módon változik. Egy sötét és egy világos sáv ad ki egy ciklust. Egy vizuális inger esetében a

térbeli frekvencia értéke arra utal, hogy egy adott egységen belül, ebben az esetben egy látószögfokon belül, hányszor ismétlődik a struktúra, a ciklus. Ahogyan a 3. ábrán is látható az alacsony térbeli frekvenciájú rácsmintázat széles sávokat tartalmaz, míg a magas térbeli frekvenciák esetében a rácsok keskenyebbek. Az inger térbeli frekvencia tartalma a részletek mennyiségével hozható összefüggésben, hiszen a magas térbeli frekvenciák az inger részleteivel kapcsolható össze, ezzel ellentétben az alacsony térbeli frekvenciák az inger globális információt szállítják. A térbeli frekvenciák feldolgozása szorosan összefügg (a vizsgálatokban is) a kontrasztérzékenységgel, mely egy vizuális inger szomszédos részeinek (pl a sötét és világos rácsok) a különböző luminanciaszintjei közötti különbségtétel képességtételére utal. Amennyiben a különbség nagy, úgy a rácsmintázat kontrasztja magas, a kis eltérés azonban alacsony kontrasztot jelent (3. ábra) (Bar, 2003; Sekuler & Blake, 2004; van den Boomen, van der Smagt, & Kemner, 2012).



3. ábra: Az ábrán a magnocelluláris és parvocelluláris pályák vizsgálatára leggyakrabban alkalmazott mesterséges ingerek, különböző térbeli frekvenciájú és kontrasztú rácsmintázatok láthatók: A: alacsony térbeli frekvencia, B: magas térbeli frekvencia, C: alacsony luminancia kontraszt, D: magas luminancia kontraszt (az ábra az alábbi közleményből lett átvéve és módosítva: van den Boomen et al., 2012).

A szakirodalomban gyakran vonnak párhuzamot a P- és M-csatornák, valamint a ventrális és dorzális pályák között. Míg az M-csatornát hagyományosan a dorzális pályával és így a mozgásészleléssel kapcsolják össze, addig a parvocelluláris csatornát a statikus ingerek finom elemzéséért felelős ventrális vizuális pályához kapcsolják. Mára azonban úgy tűnik, hogy ez csak egy túlzott leegyszerűsítés, hiszen vizsgálatok rámutattak arra, hogy a magnocelluláris csatornának van bemenete a ventrális pályába (Ferrera, Nealey, & Maunsell, 1992, 1994; Nealey & Maunsell, 1994).

Az M- és P-csatornák eltérő térbeli felbontásuknak és a különböző térbeli frekvenciákra való érzékenységüknek köszönhetően, gyakran olvashatjuk a globális kontra lokális megkülönböztetéseket, pontosabban úgy tűnik, hogy míg a magnocelluláris pálya (az ATF

információkon keresztül) a minket érő vizuális információ durva, globális feldolgozását (2. ábra bal oldali része) végzi, addig a parvocelluláris pálya a finomabb részletazonosításért, az ún. lokális (magas térbeli frekvenciájú) információk (2. ábra jobb oldali része) elemzéséért felelős (van den Boomen et al., 2012).

Egyes elképzelések szerint, a magnocelluláris csatorna durva, globális és gyors előreható (ún. feedforward) információfeldolgozása elegendő lehet olyan vizuális ingerek detektálására/felismerésére, mint egy arc, egy állat, vagy egy jármű, azonban nem elégséges a részletek azonosításához, megkülönböztetéséhez. Fontos kiemelni, hogy az ilyen típusú gyors feldolgozásnak is megvannak a maga korlátai, hiszen azokban az esetekben, amelyekben a részletek azonosítása is fontos (például egy szűkebb kategória esetében), szükség van a parvocelluláris csatorna által szállított finomabb, részletgazdag információra is, amely egyben a feldolgozási időt is megnöveli. Elképzelhető, hogy a magnocelluláris csatornának egy gyors „előredolgozó” inputja van a ventrális pályába, amely elegendő ahhoz, hogy gyors, rövid visszaható (ún. feedback) hurkokon keresztül irányítsa a lassabb parvocelluláris csatorna információfeldolgozását, vagyis a részletazonosítást (Fabre-Thorpe, 2011). A magnocelluláris csatorna gyorsabb feldolgozási/vezetési sebességét támogatja Nowak, Munk, Girard és Bullier (1995) makákó majmokkal végzett vizsgálata is, melynek eredményei alapján úgy tűnik, hogy a parvocelluláris csatorna által szállított információ 20 ms-mal később éri el a látókérget, mint az M-csatorna információja, így az időbeli késés miatt látórendszerünk a vizuális információ feldolgozása során az M-csatorna információjára támaszkodik. Mindinkább úgy tűnik tehát, hogy a vizuális kategorizáció folyamata az ingerek durva, globális feldolgozásától halad a finomabb, lokális részletgazdagabb feldolgozás felé („coarse-to-fine” vagy „global-to-local” feldolgozás), mely a magnocelluláris csatorna által szállított alacsony térbeli frekvenciák gyorsabb feldolgozásának köszönhető (Bar, 2003; Bullier, 2001).

Moshe Bar (2003) - a téma egyik legbefolyásosabb modelljében - szintén a „coarse-to-fine” feldolgozás mellett érvel, hangsúlyozva a top-down folyamatok és így a frontális területek tárgyszűrésben betöltött aktív szerepét. Elmélete szerint a magnocelluláris pálya lehetővé teszi, hogy az inger durva, alacsony térbeli reprezentációja a korai vizuális területekről eljusson az orbitofrontális kéregbe (orbitofrontal cortex – OFC), ahol a lehetséges tárgyak reprezentációi aktiválódnak, ezzel elősegítve az ingerrel kapcsolatos gyors predikciók kialakulását (pl. „gomba, napernyő vagy asztali lámpa”) (a 4. ábra felső része). Az elméletet támogatja az a magnetoencefalográfiát (MEG) és a funkcionális mágneses rezonancia képalkotó (fMRI) vizsgálati módszereket integráló vizsgálata (Bar et al., 2006), melyben

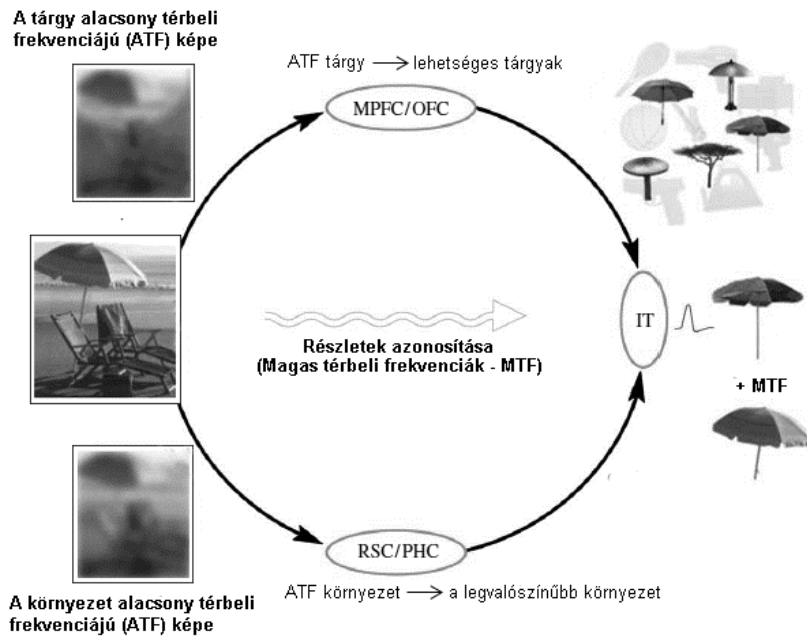
eredeti, szürkeárnyaltos ingerek mellett, azok alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú módosított változatait is bemutatták. Eredményeik szerint a predikciós folyamatokkal összeköthető orbitofrontális kéregben 50 ms-mal korábban regisztrálható felismeréshez kapcsolódó aktivitásváltozás (sikeresen azonosított vs. nem azonosított ingerek) a fusiform gyrus-hoz viszonyítva, mely terület a tárgyfelismeréssel hozható összefüggésbe. Ezen korai orbitofrontális kérgi aktiváció az eredeti, illetve alacsony térbeli frekvenciájú képek esetében nagyon hasonló, melyektől jelentősen eltér a MTF ingerekre jelentkező aktivitás, vagyis az OFC aktivitása azonos mindaddig, amíg az alacsony térbeli frekvenciák jelen vannak. Végül pedig erős fázisszinkronitást tapasztaltak az orbitofrontális kéreg, valamint az okcipitotemporális területek között, mely ezen áréák között jelenlévő kölcsönhatásra utal a vizuális tárgyfelismerés folyamatában. Jelen funkcionális kapcsolat erősebb volt az eredeti, illetve alacsony térbeli frekvenciájú képek esetében, szemben a MTF ingerekkel, mely eredmény arra utal, hogy az okcipitális és fusiform vizuális áréákra ható top-down hatások főként abban az esetben érvényesülnek, amikor a bemutatott ingerekben alacsony térbeli frekvenciákat tartalmaznak. A vizsgálat eredményei tehát támogatják azt az elképzelést, mely szerint a prefrontális kéreg aktív szerepet játszik a vizuális ingerek feldolgozásában (Bar et al., 2006).

Kveraga, Boshyan és Bar (2007a) szintén az M- és P-pályák szerepét, illetve a top-down folyamatok serkentő hatását vizsgálták, azonban az eltérő térbeli frekvenciájú (ATF és MTF) képek helyett alacsony luminancia kontrasztú, akromatikus (melyre a magnocelluláris pálya érzékeny), valamint kromatikus, izolumináns (piros-zöld, melyre a parvocelluláris pálya mutat inkább érzékenységet) vonalrajzokat használtak ingerként. Eredményeik Bar (2003) elméletével és vizsgálatával (Bar et al., 2006) összhangban szintén arra utalnak, hogy a gyorsabb magnocelluláris pálya információja aktiválva az orbitofrontális kérget a korai predikciók által facilitálja a tárgyfelismerést (Kveraga, Boshyan, & Bar, 2007a).

A fent említett folyamatokkal párhuzamosan történik a kontextus (pl. „tengerpart”) elemzése (Bar, 2004), amelyhez szintén elegendő az alacsony térbeli frekvenciájú információ feldolgozása (Bar, 2004; Oliva & Torralba, 2001; Peyrin, Baciú, Segebarth, & Marendaz, 2004; Torralba & Oliva, 2003). Ezen folyamat során a parahippocampalis (PHC), illetve a retrosplenialis kéreg (RSC) bevonásával a lehetséges tárgyakra vonatkozó predikciók közül kiválasztásra kerülnek azok („napernyő a tengerparton”), amelyek tipikusan ilyen környezetben fordulnak elő (4. ábra alsó része) (Bar és Aminoff, 2003; Bar, 2004). Ezen elképzelést, vagyis a környezet facilitáló szerepét támogatja Kveraga és munkatársai 2011-

ben végzett vizsgálata, mely során fMRI-t, illetve magnetoencefalográfiát (MEG) kombinálva az izolált ingereket erős vagy gyenge kontextuális asszociációkkal történő bemutatása során hasonlították össze a mögöttes neurális aktivitást. Megnövekedett fázisszinkronizációról számoltak be abban az esetben, amikor az inger erősen asszociálódott a speciális környezettel az okcipitális kéreg és a PHC között már 150 ms-tól kezdődően, az RSC esetében pedig később, 300-400 ms között. Ezen eredmények arra utalnak, hogy a kontextuális információ és az ahhoz kapcsolódó területek már a tárgyészlelés korai szakaszában aktiválódnak (Kveraga et al., 2011). A kontextus tárgyfelismerésben és kategorizációban betöltött serkentő szerepére vonatkozóan nagyszámú szakirodalmat találunk (Biederman et al., 1982; Bar, 2004; Joubert, Fize, Rousselet, & Fabre-Thorpe, 2008). Biederman például már 1972-es vizsgálatában kimutatta, hogy jobb teljesítmény figyelhető meg abban az esetben, amikor az azonosítani kívánt tárgy egy koherens környezetben szerepel, szemben azzal, amikor a háttér összekevert képe jelenik meg. Érdekes módon azonban, annak ellenére, hogy Bar (2004) modelljében maga is hangsúlyozza a környezet tárgyfelismerésben betöltött szerepét, mégis munkatársaival 2006-ban (Bar et al., 2006) végzett, ATF és MTF ingereket alkalmazó vizsgálatában környezetükből kiragadott, izolált ingereket mutattak be a résztvevőknek és a folyamat során érvényesülő top-down típusú hatások közül csak az OFC szerepére fókuszálnak.

A vizuális ingerek feldolgozása során tehát, a lehetséges tárgyak és a tipikus környezet kapcsolatának, vagyis a céltárgy-környezet kongruencia elemzése is lényeges folyamat (Bar, 2004), hiszen a 4. ábrán látható példánknál maradva, amennyiben az OFC elemzése arra utal, hogy az általunk észlelt tárgy gomba, napernyő, vagy asztali lámpa lehet, a PHC szerint a környezet pedig nagy valószínűséggel egy tengerpart, akkor a napernyő alternatíváját választjuk, az összes többit pedig elvetjük. Ezekhez az információkhoz adódik hozzá a részletazonosításért felelős ventrális/parvocelluláris pálya által szállított MTF információ, amely tovább finomítja a képet. Ezen magas térbeli frekvenciák elemzése és feldolgozása lassabb, továbbá úgy tűnik, hogy a korai vizuális területekről közvetlenül az IT-be jut. Ennek megfelelően az inferotemporális kéregben összegződnek egyrészt a bottom-up típusú, korai vizuális területekről érkező magas térbeli frekvenciájú információk, valamint azon top-down jellegű információk, melyek a magasabb rendű területekről érkeznek és a tárgy és a környezet legvalószínűbb értelmezését adják (Bar, 2003, 2004).



4. ábra: Az ábra a vizuális ingerek feldolgozását és elemzését mutatja Bar (2003, 2004) elmélete szerint (Az ábra az alábbi közlemények alapján lett módosítva és szerkesztve: Bar, 2004, 2009).

Összegezve tehát, a korábban részletezett hagyományos előremutató modellel ellentétben, Bar (2003, 2004) úgy gondolja, hogy a céltárgy - esetünkben a napernyő - azonosításában nem csak a részletazonosításért felelős, lassabb ventrális/parvocelluláris rendszer játszik fontos szerepet, hanem a gyorsabb, de kevésbé finomabb magnocelluláris csatorna is, mely a kontextuális információk elemzésével aktiválja a lehetséges tárgyrepresentációkat, így segítve a céltárgy „top-down” jellegű gyors és hatékony felismerését/kategorizációját.

A fent bemutatott elmélet alapján, illetve az előzőekben részletezett vizsgálatok eredményeiből jól látható, hogy a magnocelluláris pálya által szállított információnak - vagyis az alacsony térbeli frekvenciáknak – kiemelkedő szerepük van a vizuális kategorizáció és vizuális feldolgozás folyamata során. Amellett, hogy az ATF a prefrontális kérgi területek bevonásával serkenti a tárgyfelismerés folyamatát (Bar, 2003, 2004), az ilyen típusú durva térbeli felbontású információ kritikus lehet azokban a helyzetekben, amikor gyors válasz szükséges, például valamilyen veszélyforrás mielőbbi detektálása és elkerülése céljából (Carretié, Hinojosa, Mercado, & Tapia, 2005).

A fejezet végén röviden meg kell említenünk a retina harmadik típusú ganglionsejtsztyát a koniocelluláris (K) sejteket, illetve látópályát, melynek vezetési sebesség a parvocelluláris pályához képest is elmarad (Hendry & Yoshioka, 1994; Hendry & Reid, 2000). Ezen neuronosztályok anatómiai és funkcionális jellemzőinek diverzitása

azonban megnehezítik a sejteknek/pályának a látásban és a vizuális feldolgozásban betöltött szerepének azonosítását és megértését (Kaplan, 2004).

1.2 Az elektroencefalográfia (EEG) módszere a vizuális kategorizáció és feldolgozás vizsgálatában

1.2.1 A vizuális eseményfüggő komponensek

Az idegtudomány ugyancsak gyakran használt módszere az elektroencefalográfia (EEG), mely az egyes agykérgi neuronpopulációk összesített elektromos aktivitását, az aktivitás dinamikáját tükrözi. A skalpra helyezett elektródák segítségével, az agykéreg felszínének működésével összefüggő elektromos szignál regisztrálható, mivel a mélyebb idegrendszeri struktúrák neurális aktivitását jellemző jel gyengülése, csökkenése miatt ez nem idéz elő megfelelő erősségű, a skalpról is elvezethető elektromos jelet. Előnye a képalkotó eljárásokkal szemben, hogy kiváló idői felbontással rendelkezik, melynek köszönhetően lehetőséget ad a különböző idegrendszeri folyamatok valós idejű, akár milliszekundumos pontossággal történő vizsgálatára, és így a gyorsan zajló perceptuális folyamatok nyomon követésére (Kéri & Gulyás, 2003). A kutatások mellett klinikai környezetben is igen gyakran alkalmazott módszer, hiszen az egyik legfontosabb diagnosztikai eszköz az epilepszia esetében vagy akár az intenzív osztályon fekvő betegek idegrendszeri működésének nyomon követésére (Murdoch-Eaton, Darowski, & Livingstone, 2001; Taylor & Baldeweg, 2002).

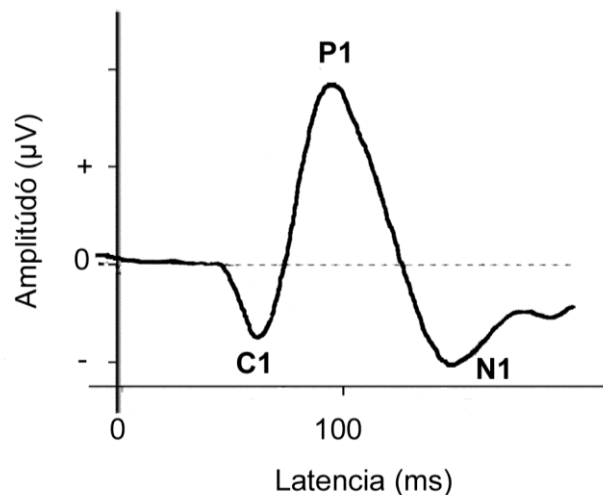
Az EEG módszerét alkalmazó kutatások egyik fő célja annak vizsgálata, hogy a különböző szenzoros, motoros, vagy kognitív folyamatok az alap EEG görbén milyen változásokkal kapcsolhatók össze. Ezeket a változásokat vagy jeleket nevezzük eseményfüggő potenciáloknak (EP, event-related potential – ERP). Az egyes eseményfüggő potenciálokat tovább bonthatjuk komponensre, melyek között különbséget tehetünk attól függően, hogy milyen polaritással (pozitív – P, negatív – N) vagy, hogy az adott eseményt követően hány milliszekundummal jelentkeznek, továbbá annak függvényében, hogy milyen modalitású ingerhez, vagy kognitív folyamathoz kapcsolhatók (Antal et al., 2001; Kéri & Gulyás, 2003; Luck, 2005). A fejezet további részében a kutatás szempontjából releváns vizuális eseményfüggő komponensek rövid bemutatása a célunk.

A legkorábban jelentkező vizuális eseményfüggő komponens a C1 (vagy N70) komponens (5. ábra), melynek maximuma az inger bemutatását követően 70-100 ms között az okcipitális területek középvonalán regisztrálható, és főként az elsődleges látókéreg, a striatális vizuális területek működésével, retinotopikus szerveződésével mutat összefüggést (Foxe et al., 2008; Jeffreys & Axford 1972), továbbá olyan fizikai vonásokra is érzékeny, mint a luminancia, vagy a térbeli frekvencia (Foxe et al. 2008). Bár a szakirodalomban olvashatunk olyan vizsgálatokat, melyek szerint a figyelmi terhelés vagy a szelektív figyelem befolyásolhatja a C1 komponenst (Kelly, Gomez-Ramirez, & Foxe, 2008; Rauss, Pourtois, Vuilleumier, & Schwartz, 2009), mégis azonban úgy tűnik, hogy ezen időablakban a figyelmi terhelés manipulálása nem módosítja a megjelenő komponens amplitúdóját (Clark & Hillyard, 1996; Fu, Fedota, Greenwood, & Parasuraman, 2010). Egyes vizsgálatokban a C1-es időintervallumában jelentkező negatív hullámra N1-es hullámként hivatkoznak (például: Ellemberg, Hammarrenger, Lepore, Roy, & Guillemot, 2001; Hansen, Jacques, Johnson, & Ellemberg, 2011), ez azonban nem összekeverendő lentebb tárgyalt 130-200 ms között jelentkező N1-es komponenssel.

A vizuális P1 (vagy P100; 5. ábra) hullám az inger bemutatását követően 80-140 milliszekundumos latenciával okcipitálisan jelentkező pozitív hullám (Luck, 2005). Amplitúdóját főként bemutatott inger fizikai tulajdonságai befolyásolják (mint például: luminancia, kontraszt, vagy térbeli frekvencia) (Ellemberg et al., 2001; Hansen et al., 2011; Rossion & Caharel, 2011), továbbá a C1-gyel ellentétben a P1 komponenst már egyértelműen befolyásolják szelektív figyelmi folyamatok is (Clark & Hillyard, 1996; Fu et al., 2010; Mangun & Hillyard, 1991).

A következő, N1-es komponens (5. ábra) az inger után 130-200 ms-mal az okcipitoparietális területek felett megjelenő negativitás, mely jellemzően kategorizációs, valamint alak-háttér szegregációs folyamatokat tükröz, amplitúdója megnő a mélyebb, részletesebb elemzést igénylő feladatok esetében, továbbá az adott kategóriában szerzett szakértelem is modulálja (Rokszin et al., 2015; Rossion, Gauthier, Goffaux, Tarr, & Crommelinck, 2002; Schendan & Lucia, 2010; Tanaka, Luu, Weisbrod, & Kiefer, 1999; Vogel & Luck, 2000). Kategória-specifikus N1 amplitúdó modulációkat figyeltek meg például mesterséges tárgyak és állatok/növények esetében (Kiefer, 2001; Proverbio, del Zotto, & Zani, 2007), hiszen eltérő amplitúdót tapasztaltak attól függően, hogy a személyeknek arcokat, autókat, bútorokat vagy éppen madarakat mutatnak (Carmel & Bentin, 2002), valamint kategória hatás jelentkezik gyakorlást követően akár absztrakt formák esetében is

(Curran, Tanaka, & Weiskopf, 2002). Egyes vizsgálatok arra is rámutattak, hogy az N1 komponens amplitúdóját az elvégzendő feladat típusa is befolyásolhatja, hiszen eltérő amplitúdójú N1 komponenseket regisztrálhatunk abban az esetben, amikor a személyek diszkriminációs feladatot végeznek, illetve akkor, ha feladat egy egyszerű reakcióidő feladat (Hopf, Vogel, Woodman, Heinze, & Luck, 2002; Vogel & Luck, 2000).

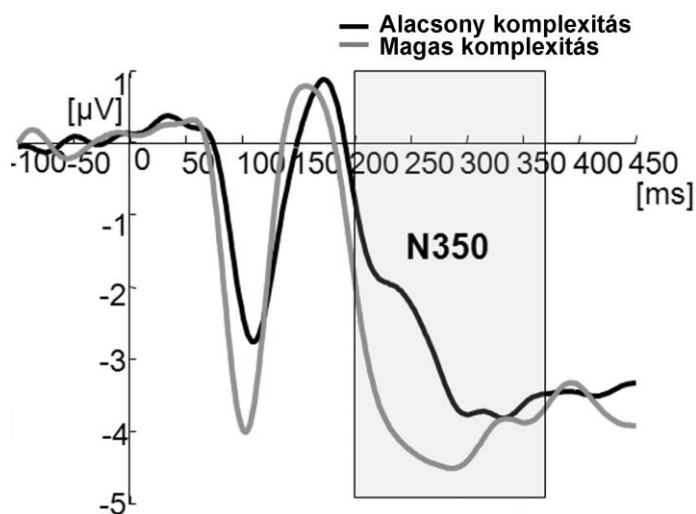


5. ábra: Az ábrán a korai vizuális komponensek (C1, P1, N1) láthatók (az ábra az alábbi közleményekből lettek átvéve és módosítva: van den Boomen, et al., 2012). A 0 ms az inger megjelenésének idejét jelzi.

Az N1-es komponens egyik altípusa az ún. N170 hullám, mely többek között a superior temporal sulcus (STS) vagy a korábban már említett arc-érzékeny kérgi modul (fusiform face area - FFA) aktivitásával hozható összefüggésbe, továbbá amplitúdója megnő arcok, valamint arc-részletek (pl. szem) bemutatása esetén (Sagiv & Bentin, 2001; Bentin, Golland, Flevaris, Robertson, & Moscovitch, 2006). Ezen komponensről is elmondható azonban, hogy funkcionális szerepe még korántsem tisztázott, hiszen arra vonatkozóan is találunk adatokat, hogy az FFA aktivitását, valamint az N170 komponens amplitúdóját a tapasztalat, valamint az adott kategóriában való jártasság, szakértelem is befolyásolja (Gauthier, Skudlarski, Gore, & Anderson, 2000; Rossion et al., 2002). Érdekes módon egyes vizsgálatok már a P1 esetében is leírtak arc-érzékeny hatást (Dering, Martin, Moro, Pegna, & Thierry, 2011), ez az eredmény azonban még erősen vitatott (Rousselet, Pernet, Caldara, & Schyns, 2011).

A hátulsó okcipitális és parietális áréak felett jelentkező vizuális komponensek vizsgálata mellett egyre több kutatást találunk az anterior területek felett regisztrálható N350

komponensre (6. ábra) vonatkozóan is, melynek maximuma frontocentrálisan 300-400 ms között mérhető. Ezen komponens leginkább tárgymodell-szelekciós (object model selection) folyamatokat tükröz, vagyis azt a folyamatot, amikor az emlékezetből aktiválódik azon tárgy idegrendszeri reprezentációja, amely leginkább megfelel az előttünk lévő tárgy elemzése során kialakult átmeneti reprezentációnak (Schendan & Kutas, 2007). Martinovic, Gruber, és Müller (2008) eredményei alapján az N350 komponens amplitúdóját a bemutatott ingerek komplexitása is befolyásolja, hiszen vizsgálatukban nagyobb amplitúdót figyeltek meg a magasabb komplexitású képek esetében.



6. ábra: Az ábra azt mutatja, hogy a bemutatott ingerek komplexitása hogyan befolyásolja az N350 komponens amplitúdóját (az ábra az alábbi közleményből lett átvéve és módosítva: Martinovic et al., 2008).

A vizuális tárgyfelismerésre vonatkozó vizsgálatokban a centroparietális területek felett 450 ms után jelentkező komponens az ún. „late positiv complex” (LPC), mely főként olyan másodlagos kategorizációs folyamatokkal mutat összefüggést, mint a döntés értékelése, a vizuális elemek emlékezetben tárolt információkkal történő társítása, valamint a képekkel kapcsolatos szemantikus információk, ismeretek, név, kategória aktiválása (Craddock, Martinovic, & Müller, 2013; Schendan & Kutas, 2002; Schendan & Kutas, 2007; Schendan & Maher, 2009). Schendan és Maher (2009) úgy gondolják, hogy ezen komponens amplitúdó-változásai korrelálnak leginkább a válaszadás idejével. Az LPC hullám olyan további alkomponensekre bontható, mint a modalitásfüggetlen, válaszhoz kapcsolódó „positive-choice response” (P-CR) és a „late slow wave” (SW), továbbá sok tekintetben hasonlóságot mutat a klasszikus P300 hullámmal (Dien, Spencer, & Donchin, 2004; Falkenstein, Hohnsbein, &

Hoormann, 1994; Rushby, Barry, & Doherty, 2005). Mivel a fentebb idézett és a későbbiekben még részletezni kívánt vizsgálatok (Craddock et al., 2013; Schendan & Kutas, 2007), melyek a disszertáció alapszakirodalmát képezik, nem tesznek különbséget az egyes alkotórészek között, így annak érdekében, hogy eredmények összevethetőek legyenek, mi is így teszünk.

Schendan és Kutas 2007-ben felállított két-állapotos interaktív elméletében az feldolgozás idői aspektusa alapján két szakasz különít el egymástól, kiemelve azonban az egyes szakaszok, illetve különböző folyamatok közötti folyamatos, kétirányú interakciót. Az inger megjelenését követően 200 ms-ig tartó első szakaszt az ún. „elsődleges kategorizáció” szakasza, mely során bottom-up módon aktiválódnak az egyes tárgy-érzékeny vizuális területek. Ebben a szakaszban történnek a különböző szenzoros/perceptuális folyamatok, mint például a vonásdetekciós folyamatok, a strukturális kódolás, alak-háttér szegregáció, valamint a perceptuális kategorizáció folyamata. Az első 200 ms-ban, vagyis Schendan és Kutas (2007) két-állapotos interaktív modellje szerinti első szakaszban megjelenő vizuális komponensek, a C1, P1 és N1 komponensek főként az ingerek fizikai vonásaira érzékenyek, mint a luminancia, kontraszt, vagy a térbeli frekvencia. Fontos megjegyezni, hogy annak ellenére, hogy ebben a szakaszban főként előreutató aktivációs folyamatok zajlanak, már megfigyelhetők automatikus visszaható ún. feedback folyamatok is, amelyeket a korai „bottom-up” működések váltanak ki (Rennie, Robinson, & Wright, 2002). Egyes vizsgálatok alapján úgy tűnik, hogy az N1 komponens esetében jelentkező latencia csúszás top-down figyelmi folyamatokat tükröz (Pollux, Hall, Roebuck, & Guo, 2011).

A 200 ms-ot követő második szakaszban a tárgyérzékeny vizuális kérgi területek, valamint a magasabb szintű asszociációs kérgi áréak közötti előreutató és feedback folyamatok interakciója hangsúlyosabbá válik, amely hozzájárul ahhoz, hogy az emlékezetből kiválasszuk az észlelt tárgyhoz leginkább hasonlót (Schendan & Kutas, 2007). Ebben az időablakban jelentkezik a korábban részletezett frontocentrális területek felett regisztrálható N350, valamint a centroparietális területek felett mérhető LPC komponens. Craddock és munkatársai 2013-as vizsgálatukban egyebek mellett a P1, N1, N350, valamint az LPC komponensek változásait vizsgálták egy élő/nem élő kategorizációs feladat során, illetve akkor, amikor a vizsgálati személyeknek a bemutatott ingerek nevének grammatikai neméről kellett döntést hozniuk. Eredményeik alapján csak az N350 és LPC komponensek, vagyis Schendan és Kutas (2007) modelljének második szakaszában jelentkező ERP-k esetében figyeltek meg feladatfüggő hatást, melyből arra következtettek, hogy ezek főként ún. poszt-

perceptuális, szemantikai vagy másodlagos kategorizációs folyamatokat tükröznek (Craddock et al., 2013).

A vizuális kategorizáció folyamatára vonatkozóan, főként olyan kutatásokat találunk, amelyek a fent említett komponensek csúcsának amplitúdóját, illetve latenciáját vizsgálják, Rousselet és Pernet (2011) azonban úgy gondolják, hogy az elektroencefalográfia módszerének alkalmazásakor elemzésünk nem korlátozódhat kizárólag az egyes csúcsok és kijelölt időablakok elemzésére, hiszen a folyamat dinamikáját leginkább úgy érhetjük meg, ha vizsgálatunk az összes mérési pontra kiterjed. Pontosabb képet kaphatunk abban az esetben, ha az egyes eseményfüggő potenciálok változását folyamatában, komplexen szemlélve követjük.

1.2.2 A magnocelluláris és parvocelluláris csatornák és az egyes eseményfüggő komponensek kapcsolata

A magnocelluláris és a parvocelluláris csatornák, illetve az egyes eseményhez kötött potenciálok kapcsolatának vizsgálatakor főként olyan kutatásokat találunk, melyek mesterséges ingereket alkalmaznak, például szinuszos rácsmintázatokat, különböző sakktábla-mintázatokat, vagy izolumináns kontraszt stimulusokat (például: Baseler & Sutter, 1997; Ellemborg et al., 2001; Foxe et al., 2008; Hansen et al., 2011; Rudvin, Valberg, & Kilavik, 2000). A vizsgálatok többségében az okcipitális területek centrális részén elhelyezett Oz elektródán jelentkező C1 és P1 komponensek változásait elemzik. Az eredmények alapján úgy tűnik, hogy a C1-es komponens változása a parvocelluláris pálya által szállított információval mutat összefüggést, míg a P1-es hullám a magnocelluláris pálya aktivitásához kapcsolható inkább (Baseler & Sutter, 1997; Ellemborg et al., 2001; Foxe et al., 2008; Hansen et al., 2011).

A komplex ingereket (élőlények és élettelen dolgok) vagy arcokat alkalmazó vizsgálatok eredményei azonban korántsem ilyen egyértelműek. Nakashima és munkatársai (2008) mesterséges ingerek helyett eredeti, valamint alacsony és magas térbeli frekvenciájú arcokat mutattak be a vizsgálati személyeknek, mely során a P1-et az okcipitális területek felett centrálisan, míg az N170 komponenst a laterálisan a temporo-okcipitális régió felett vizsgálták. Fontos megemlíteni, hogy az elemzések során a módosított képtípusokra jelentkező agyi aktivitást csak az eredeti ingerekre regisztrált eseményfüggő potenciálokkal vetették össze, vagyis arra vonatkozóan nincsen statisztikai adat, hogy az ATF és MTF képek

hogyan különböznek egymástól. Eredményeik szerint a P1-es komponens idejében az ATF képek idéznek elő a legnagyobb amplitúdót, és csak ez a képtípus tér el szignifikánsan az eredeti képtípustól. Az N170 esetében a magas térbeli frekvenciájú módosított arcok váltanak ki a legnagyobb negativitást, az ATF képek nem különböznek az eredeti képektől. A N170 hullámnál a hatás csak a jobb oldalon jelentkezett (Nakashima et al., 2008). Ezzel ellentétben Pourtois és kutatócsoportja (2005) vizsgálatában mind a P1, mind az N170 komponens esetében eredeti arcokra jelentkeztek a legnagyobb amplitúdó, továbbá egyik komponens esetében sem számolnak be szignifikáns különbségről az ATF és MTF arcok között. Sőt a szerzők szerint a módosított képek hatására az N170 komponens csaknem teljesen eltűnik. (Pourtois, Dan, Grandjean, Sander, & Vuilleumier, 2005). A szakirodalomban azonban olyan vizsgálatról is olvashatunk, melynek eredményei arra utalnak, hogy az alacsony térbeli frekvenciák befolyásolják leginkább az arcészlelést, valamint a jelentkező N170-es hullámot (Goffaux, Gauthier, & Rossion, 2003).

Craddock és munkatársai (2013) korábban már említett vizsgálatában a személyeknek élőlényeket vagy élettelen dolgokat ábrázoló képek alacsony, illetve magas frekvenciájú módosított változatait prezentálták. A német anyanyelvű résztvevőknek az egyik feladatban módosított képeken szereplő célingerek nevének neméről, vagyis az adott főnév neméről kellett döntést hozniuk, másrészt pedig egy fölérendelt kategorizációs feladatban élő/nem élő kategorizációs feladatot végeztek. A vizsgálat során arra voltak kíváncsiak, hogy a posterior P1, N1, a frontocentrális N350, valamint a centroparietális LPC amplitúdóját hogyan befolyásolják a bemutatott térbeli frekvenciák és az elvégzendő feladat. Érdekes módon a P1-es komponens esetében, az eddig bemutatott szakirodalmi adatokkal ellentétben, nagyobb pozitivitást figyeltek meg a magas térbeli frekvenciákat tartalmazó képtípusnál. Az N1-es hullámnál az okcipitális (Oz, O1, O2 elektródák) területek felett szintén a magas térbeli frekvenciák esetén regisztráltak nagyobb amplitúdót, míg laterálisan az okcipitoparietális területek (P7, PO7 és P8, PO8 elektródák) felett hasonló hatás nem igazolódott. A későbbi komponensek közül, csak az LPC esetében tapasztalták a térbeli frekvenciák moduláló hatását, pontosabban ebben az esetben is a MTF módosított képekre jelentkezett nagyobb amplitúdó. Érdekes módon az általuk alkalmazott térbeli frekvenciák hatását az elvégzendő feladat egyik hullám esetében sem befolyásolta (Craddock et al., 2013).

Ezen a ponton fontosnak tartjuk kiemelni, hogy Craddock és munkatársai (2013) vizsgálatában csak az alacsony, illetve a magas térbeli frekvenciájú ingere jelentkező eseményfüggő potenciálokat hasonlították össze egymással és nem vetették össze az eredeti

képtípussal. Mivel az eredeti, könnyen felismerhető ingerek minden térbeli frekvenciát tartalmaznak, ezekre a képekre akár kontrollként is tekinthetünk. Ennek megfelelően, ahhoz, hogy pontos következtetéseket tudjunk levonni a térbeli frekvenciák hatására vonatkozóan, a módosított képtípusokat (AFT és MTF képeket) az eredetivel is össze kell vetnünk. Így részletesebb képet kaphatunk arról, hogy az vizuális feldolgozás különböző szakaszaiban mely térbeli frekvenciák és hogyan befolyásolják az elemzést, illetve a vizuális ingerek kategorizációját.

Craddock és munkatársai későbbi 2015-ben végzett kutatásukban a fent említett a problémát kísérli meg feloldani, hiszen a korábbi vizsgálatukkal (Craddock et al., 2013) ellentétben az alacsony, illetve magas térbeli frekvenciákat tartalmazó képtípusok mellett az eredeti, nem módosított, minden térbeli frekvenciát tartalmazó képek is bemutatásra kerültek. Ezen vizsgálatukban a résztvevőknek három gombot kellett nyomniuk attól függően, hogy természeti objektumokat, az ember által készített, mesterséges tárgyakat, vagy pedig semmilyen objektumot sem ábrázoló textúrákat láttak. Ezt követően a természeti objektumokat és a mesterséges tárgyakat ábrázoló képekre jelentkező elektromos jeleket összevonták és a csak textúrákat ábrázoló képek idegi aktivitásával vetették össze. További különbség a korábbi, 2013-as vizsgálatukhoz képest, hogy a középvezetelen nem, hanem csak a laterális okcipitoparietális területek (P7, PO7 és P8, PO8-as elektródák) felett jelentkező komponensek amplitúdóját és latenciáját vizsgálták. A térbeli frekvenciák eseményfüggő potenciálokra gyakorolt hatására vonatkozóan függetlenül attól, hogy a bemutatott képen jelen volt-e valamilyen tárgy, a legpozitívabb P1-es komponens az eredeti képek esetében regisztráltak, majd szignifikánsan kisebb amplitúdót figyeltek meg az MTF és még kisebb az ATF ingerek esetében. Az N1 hullámnál az alkalmazott térbeli frekvenciák moduláló hatását illetően ugyanolyan mintázat figyelhető meg mind a két kondíció esetén, pontosabban a legnagyobb negativitást a MTF, majd az ATF és végül az eredeti ingerek esetén figyeltek meg. Az N1 komponens esetében az amplitúdó mellett a latenciáértékek elemzése is megtörtént, mely során szignifikánsan rövidebb latencia figyelhető meg az alacsony térbeli frekvenciájú képekre jelentkező N1 komponensnél, mely eredményt a szerzők a magnocelluláris pálya gyorsabb információszállításával magyarázzák (Craddock, Martinovic, & Müller, 2015).

A különböző képalkotó eljárásoknak köszönhetően régóta ismert, a két félteke térbeli frekvenciákra jelentkező eltérő érzékenysége, hiszen több vizsgálat rámutatott arra, hogy míg a jobb agyfélteke a globális/ alacsony térbeli frekvenciájú információk, addig a bal agyfélteke

a lokális/magas térbeli frekvenciájú információk elemzésében játszik nagyobb szerepet (Fink, et al., 1996; Heinze, Hinrichs, Scholz, Burchert, & Mangun, 1998; Peyrin et al., 2004; Peyrin, et al., 2005). Az általunk fentebb részletezett vizsgálatokban hasonló hatás nem volt megfigyelhető, azonban érdekes módon, mind arcok, mind élőlények és mesterséges tárgyak bemutatásánál a térbeli frekvenciák moduláló hatása a skalp jobb oldalán elhelyezett elektródák felett kifejezettebb volt (Craddock et al., 2015; Nakashima et al., 2008). Ezen mintázat nagy valószínűséggel a hosszabb bemutatási időnek tulajdonítható (300 és 500 ms), hiszen a szakirodalom alapján úgy tűnik, hogy 150 ms-os vagy annál hosszabb bemutatási idő esetében a különböző térbeli frekvenciákra való érzékenység lateralizációs hatása eltűnik és nagyobb aktivitás mérhető a jobb agyfélteke fölött függetlenül attól, hogy az ingerek milyen térbeli frekvenciákat tartalmaznak (Goffaux et al., 2011; Peyrin, Mermillod, Chokron, & Marendaz, 2006).

Bár a fejezet nagyobb részében a komplex ingereket alkalmazó vizsgálatokra fókuszáltunk, elmondható, hogy az M- és P-pálya, illetve az egyes eseményfüggő potenciálok kapcsolatával foglalkozó elektrofiziológiai kutatások többsége mesterséges ingereket alkalmaz. A C1-es komponens esetében csak arra vonatkozóan van információnk, hogy milyen változások jelennek meg ha a mesterséges ingerek (például szinuszos rácsmintázatok) kontrasztját, vagy térbeli frekvenciáját módosítják (Ellemberg et al., 2001; Foxe et al., 2008; Hansen et al., 2011), ismereteink szerint azonban nincs olyan vizsgálat amely komplex ingerek manipulálásának segítségével vizsgálja ezen komponens amplitúdóját vagy latenciáját. Vizsgálatunk e tekintetben is hiánypótló.

Annak ellenére, hogy több elméletet és vizsgálatot találunk, melyek hangsúlyozzák a környezet facilitáló szerepét (Bar, 2004; Biederman et al., 1982; Joubert et al., 2008), a vizuális kategorizáció témájával foglalkozó vizsgálatok többségében (például: Bar et al., 2006; Craddock et al., 2013, 2015) az ingerek környezetükből kiragadva kontextus nélkül kerülnek bemutatásra. Ennek megfelelően nincsenek jelen azok a vizuális vonások, melyek az azonosítani kívánt objektum, célinger környezetét jellemzik (például: felszíni mintázatok, a térbeli frekvenciák és a luminancia inhomogenitása, az egyes objektumok, elemek egymáshoz való viszonya stb.) (Ruderman, 1997), és amelyek segíthetik a céltárgy azonosítását (Bar, 2004; Joubert et al., 2008; Torralba & Oliva, 2003). Ezen megfontolásból, kutatásunkban olyan képeket mutattunk be, melyeken a céltárgy természetes környezetében szerepel, így az ATF információn keresztül a PHC, illetve az RSC aktiválódása és így a kontextus elemzése segítheti és megkönnyítheti az inger azonosítását, kategorizációját (Bar, 2004).

1.3 Összefoglalás

Jelen fejezet célja a vizuális kategorizáció és vizuális feldolgozás idegrendszeri hátterének bemutatása. Igyekeztünk hangsúlyozni, hogy bár látszólag nagyon egyszerű funkcióról van szó, a folyamat komplexitását mutatja, hogy vizuális kéreg mellett az agy számos más területe is bekapcsolódik, valamint működésére vonatkozóan továbbra is több elmélet és modell vár pontosításra. Hagyományosan az elméletek hierarchikus szerkezetet feltételeztek a vizuális észlelés hátterében, mely során az aktiváció az alacsonyabb szintű vizuális (poszterior) területek felől terjed a magasabb szintű (anterior) kérgi területek felé (Grill-Spector & Malach, 2004; Logothetis & Sheinberg, 1996). Ugyanakkor több olyan bizonyítékot találunk, melyek arra utalnak, hogy az egyes vizuális ingerek észlelése során felülről-lefelé ható top-down jellegű folyamatok is befolyásolják az azonosítást/kategorizációt (Bar et al., 2006; Gilbert & Li, 2013). A top-down folyamatokkal kapcsolatos kutatások egy része az alacsony és magas térbeli frekvenciákra érzékeny magnocelluláris és parvocelluláris csatornákra fókuszálnak, és a vizuális információ térbeli frekvencia-alapú „coarse-to-fine” típusú feldolgozására tesznek javaslatot. A fejezetben különös figyelmet szenteltünk Bar (2003, 2004) modelljének, valamint az azt alátámasztó főként vizuális képalkotó eljárásokat alkalmazó vizsgálatok bemutatásának. Az elmélet szerint vizuális inger durva feldolgozását végző M-csatorna az OFC bevonásával aktiválva a lehetséges tárgyrepresentációkat, valamint a kontextuális információk elemzésével segíti a céltárgy „top-down” jellegű gyors és hatékony azonosítását/kategorizációját. Ezen információhoz adódik hozzá a parvocelluláris kéregalatti csatorna és a ventrális kérgi pálya részletgazdag információja.

A fejezet következő nagyobb részében az EEG módszerét ismertettük, majd az egyes komponensek, a vizuális kategorizáció elektrofiziológiai korrelátumainak jellemzőit tekintettük át. Ezt követően a magnocelluláris és parvocelluláris csatornák és az egyes eseményfüggő komponensek kapcsolatára vonatkozó vizsgálatokat tárgyaltuk. A téma iránti egyre fokozottabb érdeklődés ellenére főként olyan kutatásokat találunk, melyek az egyes folyamatok lokalizálására koncentrálnak, azonban ismereteink szerint nincs olyan elektrofiziológiai vizsgálat, amely Bar (2003, 2004) modelljének tükrében, a magnocelluláris és parvocelluláris csatornák információfeldolgozásán keresztül kísérli meg a top-down hatások kategorizációs folyamatokban betöltött szerepének elektrofiziológiai vizsgálatát.

Fontos kiemelnünk, hogy mind a viselkedéses, mind az elektrofiziológiai vizsgálatok szinte mindegyike mesterséges ingereket használnak, vagy környezetükből kiragadott céltárgyakat mutatnak be. Ezzel ellentétben, vizsgálatunkban komplex eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú módosított ingerek alkalmazásával kíséreljük meg feltérképezni iskoláskorban a magnocelluláris és parvocelluláris pályák által szállított információ kategorizációban betöltött szerepét és a mögöttes idegi aktivitás változását (2. elektrofiziológiai vizsgálat).

2 A VIZUÁLIS KATEGORIZÁCIÓ ÉS VIZUÁLIS FELDOLGOZÁS FEJLŐDÉSE

A kategorizáció, mint mentális folyamat, kritikusnak tekinthető a megismerés szervezésében és stabilitásában, valamint más kognitív funkciók megfelelő működésében, hiszen az, ahogyan a különböző elemeket csoportosítjuk, vagy kategorizáljuk meghatározza, hogy hogyan tanuljuk meg a különböző objektumok közötti relációkat, és hogy ezeket a kapcsolatokat, hogyan terjesztjük ki, általánosítjuk az új elemek esetén (Mareshal & Quinn, 2001). Csecsemőkorban és kisgyermekkorban a kategorizációs képesség fejlődésének vizsgálatára számos különféle technikát és módszert alkalmaznak, úgy mint a nézési preferencia (Bomba & Siqueland, 1983; Eimas & Quinn, 1994; Quinn & Eimas, 1996a; Quinn, Eimas, & Tarr, 2001), tárgyvizsgálat (Mandler & McDonough, 1993; Oakes, Coppage, & Dingel, 1997; Mandler & McDonough, 1998), feltételes/kondicionált láb rúgás (Rovee-Collier, 1997) vagy szekvenciális (egymást követő) érintés módszere (Mandler, Fivush, & Reznick, 1987; Rakison, & Butterworth, 1998).

Az első év során a képesség, hogy az egyes tárgyakat, formákat, vizuális ingereket különböző kategóriákba soroljunk hatalmas fejlődésen megy keresztül. Egy korábbi nézési preferenciámódszert alkalmazó vizsgálat eredményei szerint például a 3-4 hónapos csecsemők már képesek létrehozni a különböző vizuális mintázatok, pontokból létrehozott geometriai formák (négyzet, háromszög, rombusz) kategóriareprezentációit (Bomba & Siqueland, 1983). Quinn és Eimas kutatócsoportjának vizsgálatai (Quinn, Eimas, & Rosenkrantz, 1993; Eimas & Quinn, 1994; Quinn et al., 2001) rámutattak arra, hogy a 3-4 hónapos csecsemők már képesek a különböző állatokat különböző kategóriákba sorolni. A szerzők 1994-es vizsgálatában például 3-4 hónapos csecsemőknek lovakat ábrázoló képeket mutattak be, egyszerre mindig kettőt. Egy lovat csak egyszer láttak a vizsgálatban résztvevő csecsemők. A lovakat ábrázoló képek után olyan képpárokat mutattak be, amelyekben egy addig nem látott, új ló mellett macska, zebra, vagy zsiráf szerepelt. Az eredmények alapján a csecsemők tovább nézték a macska, a zebra, illetve a zsiráf képét, mint a lóét, mely a szerzők szerint arra utalhat, hogy a 3-4 hónapos csecsemők már kialakították a ló kategóriáját (feltehetően a perceptuális hasonlóság alapján), amely nem tartalmazza a macskát, a zebrát illetve a zsiráfot. (Eimas & Quinn, 1994). A további vizsgálatok azt is kimutatták, hogy ugyanebben az életkorban az arc jegyei és a fej kontúrja elegendőek ahhoz, hogy a csecsemők különböző kategóriák

reprezentációit alkossák kutyákról és macskákról (Quinn & Eimas, 1996a; Spencer, Quinn, Johnson, & Karmiloff-Smith, 1997; Quinn et al., 2001). Érdekes módon macskák kategóriájából az oroszlánt csak a 6-7 hónapos csecsemők tudták kizárni (Eimas & Quinn, 1994).

Behl-Chadha (1996) vizsgálatai alapján úgy tűnik, hogy ebben a korai időszakban, 3-4 hónaposan a csecsemők nem csak alapszinten, hanem úgynevezett fölérendelt-szerű vagy globális kategóriák esetén is képesek kategória-reprezentációkat alkotni. A vizsgálatban a gyermekek ugyanis sikeresen létrehozták az emlős kategória reprezentációját, amely tartalmazza az újonnan bemutatott emlős példányt, viszont kizárja a nem emlősöket (mint például a madarakat, vagy a halakat) valamint a bútorokat. Fontos azonban megemlíteni a bútor kategória esetén tapasztalt eredmények kissé homályosak, hiszen bár a gyermekek létrehozták a bútor kategóriáját, mely tartalmazta az új bútort, de kizárta az emlős állatokat, más mesterséges, ember által készített ingernek (például járművek) a bútor kategóriába való tartozására vonatkozó eredmények azonban nem egyértelműek.

Gutheil, Vera és Keil (1998) szerint 4-5 évesen újabb fontos lépés jelenik meg, hiszen ekkor a gyermekek már megértik, hogy az élőlények nagyon sok olyan tulajdonsággal rendelkeznek, amelyek megkülönböztetik őket az élettelen dolgoktól. A szerzők úgy gondolják, hogy a 4 éves gyermekek már rendelkeznek egy korlátozott, de koherens és független „biológiai elmélettel”, amely kiváló alapját képezi annak, hogy később magabiztosan megértsék a különböző biológiai fajokat, struktúrákat, funkciókat.

A csecsemők és gyermekek kategorizációs képességeinek fejlődésével foglalkozó szakirodalomban nagy vita tárgyát képezi, hogy vajon milyen változások állhatnak a folyamat fejlődésének hátterében. Mandler (2000, 2010) kettős feldolgozás modelljében párhuzamosan működő kettős reprezentációs rendszer tételez fel, melyben nagy hangsúlyt kap a perceptuális információon való túllépés. Az elmélet abból indul ki, hogy látni nem ugyanaz, mint gondolni, és megkülönbözteti egymástól a gyermek finomabb diszkriminációs képességét egy mélyebb fogalmi tudáson alapuló tudásszervezéstől. Míg a perceptuális kategóriák csakis a statikus perceptuális tulajdonságokon alapulnak, egyszerű szenzoros képek, melyek definiálják, hogyan néznek ki az egyes kategóriák, addig a fogalmi rendszer elvontabb kapcsolatok detektálására képes, mely tudatos működést igényel. Mandler (2000, 2010) ezen elméletét többek között McDonough-val közösen lefolytatott vizsgálat (Mandler & McDonough, 1993) eredményeire alapozta, melyben az ún. tárgyvizsgálat módszert alkalmazták. Kutatásukban 7 és 11 hónapos csecsemők kategorizációs képességeit vizsgálták, melyben a gyermekeknek

állatok, illetve járművek makettjeit kellett kategorizálni, különböző kategóriákba sorolni. Eredményeik szerint a 9-11 hónapos csecsemők már szét tudták választani az állat, illetve jármű kategóriát akkor is, amikor azok nagyon hasonlóak voltak, például különböző kategóriaként kezelték a madarakat, illetve a repülőket annak ellenére, hogy ugyanolyan volt a textúrájuk, továbbá a madarak szárnya kiterjesztett állapotban volt, így nem tértek el nagyon a repülőktől. A szerzők az eredményekből arra következtettek, hogy ebben az életkorban, vagyis az első életév végére a perceptuális kategóriák mellett már a fogalmi kategóriák is megjelennek.

Quinn és Eimas (1996b, 2000) azonban másképp magyarázzák ezen megfigyeléseket, hiszen ők úgy gondolják, hogy a kategorizációs folyamatok fejlődésének hátterében nem az eltérő kategorizációs stratégiák alkalmazása áll, hanem sokkal inkább a finomabb perceptuális különbségtétel fejlődésének, az ismeretek gyarapodásának köszönhető. Az általuk képviselt modell szerint inkább arról van szó, hogy az életkor előrehaladtával a csecsemők és a gyermekek egyre több információval gazdagodnak az őket körülvevő tárgyakkal kapcsolatban, ezért amikor a szenzoros modalitáson alapuló perceptuális információk összeolvadnak a megfelelő funkcionális ismeretekkel, sokkal komplexebb, bonyolultabb kategóriák jelennek meg. E nézőpont szerint a nyelvi készségek fejlődése szintén fontos lehet, hiszen egy újabb információ-bemeneti rendszerként szolgálhat, melynek következtében tovább pontosíthatjuk a látási információk nyomán létrejött reprezentációkat. Fontos megjegyezni, hogy ezen csecsemőkori „primitív hasonlóság-alapú kategória-előfutárok” (primitive similarity-based forerunners of the categories – Quinn et al., 2001; idézi Ragó, 2011) rámutatnak arra, hogy a felnőttek kategóriáit ugyancsak erősen meghatározzák a perceptuális információk. Ennek megfelelően a kategorizáció folyamata a fejlődés későbbi szakaszaiban is perceptuális jegyeken alapszik, hiszen egy adott kategóriába történő besorolás minden esetben egy konkrét tárgyra irányul, amelynek perceptuális jegyei meghatározó információt hordoznak (Ragó, 2011). Bár fontosnak tartottuk a kategorizációs képességünk csecsemő- és kisgyermekkorban bekövetkező fejlődésének hátterében meghúzódó folyamatokkal kapcsolatos néhány vizsgálat és az előbb említett vita rövid bemutatását a disszertációban ezen kérdéskört nem kíséreljük meg megválaszolni, továbbá nem célunk ezen életszakaszban bekövetkező változások részletes bemutatása. Dolgozatunkban a 7 éves kor után bekövetkező neurális változásokra fókuszálunk az M- és P-pályák fejlődésének és működésének tükrében.

Ahogy az az első fejezetben részleteztük a vizuális áréák mellett az agy számos más területe is involválódik egy adott inger azonosítása, kategorizálása során. Az előzőekben ismertettük a kategorizációs képesség fejlődésének fontosabb állomásait csecsemő-, kisgyermekkorban ezt követően pedig sorra vesszük mindazokat az idegrendszeri változásokat, melyek befolyásolhatják a kategorizációs feladatban nyújtott teljesítményünket. Ezt követően a vizuális feldolgozás és kategorizáció elktrofiziológiai korrelátumaira fókuszálunk különös tekintettel a magnocelluláris és parvocelluláris csatornák, valamint a korai (0 és 200 ms között jelentkező vizuális) eseményfüggő komponensek kapcsolatára vonatkozóan.

2.1 Idegrendszeri változások az iskoláskor alatt

Ahogy az az egy korábbi fejezetben már részleteztük a vizuális kategorizáció folyamata során a vizuális kéreg mellett az agy számos más területe is involválódik, így fejlődésünk során a különböző agyi régiók esetében bekövetkező változások mind befolyásolhatják/javíthatják a képességünket, melynek köszönhetően sikeresen megvalósulhat a környezet ingereinek jelentéssel bíró rendszerezése.

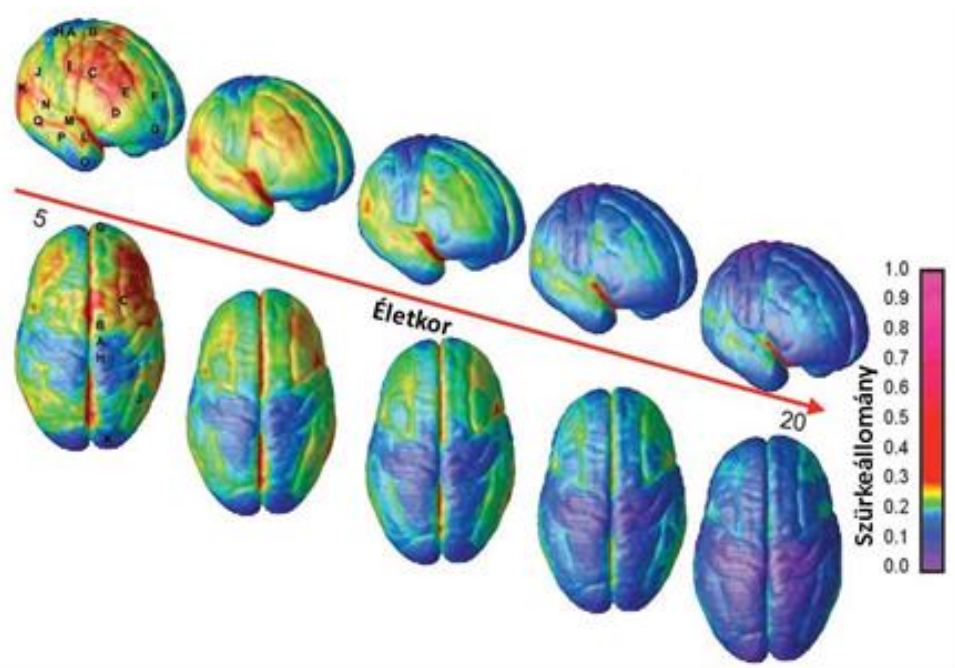
Az emberi agy strukturális fejlődésére vonatkozó ismereteink az 1970-es és 1980-as években főként a post-mortem vizsgálatokból származnak, amelyek az ún. szinaptikus denzitást, pontosabban a szinapszisok sűrűségének alakulását vizsgálták. Huttenlocher kutatásai rámutattak arra, hogy a szinapszisok sűrűségének növekedésének vagy éppen csökkenésének („szinaptikus pruning”) idői lefolyása eltér az egyes agyi régiók esetében (Huttenlocher, 1979; Huttenlocher, de Courten, Garey, & Van der Loos, 1982; Huttenlocher & Dabholkar, 1997). Az elsődleges vizuális kéregben például a szinaptikus denzitás a születést követő nyolcadik hónapban éri el a maximum értéket, az ezt követő hosszabb szakasz valamivel 3 éves kort követően fejeződik be, amikor is a szinapszisok számának csökkenése figyelhető meg (Huttenlocher et al., 1982). Eltérő mintázat tapasztalható a prefrontális kéregben, hiszen ezen terület esetében 3-4 éves korban mérhető a maximum érték, a szinapszisok számának csökkenése pedig egészen a serdülőkor közepéig elhúzódik (Huttenlocher, 1979; Huttenlocher & Dabholkar, 1997).

Fontos kiemelni, hogy ezen post-mortem vizsgálatok legfőbb hiányossága, hogy a fejlődés egyes stádiumaira, főként a serdülőkorra vonatkozóan kevés adat áll rendelkezésünkre (Paus, Keshavan, & Giedd, 2008). Ezzel ellentétben a különböző képalkotó

eljárások (például MRI) fejlődésének köszönhetően lehetőségünk nyílik nem invazív módon, longitudinálisan is vizsgálni a különböző agyi régiók fejlődésének dinamikus sorrendjét és annak idői lefolyását (Giedd, 2004; Toga, Thompson, & Sowell, 2006). Az MRI vizsgálatok fókuszában főként a fejlődés során a szürke- és a fehérállomány térfogatában bekövetkező változások állnak. Bár a korábbi keresztmetszeti vizsgálatok a szürkeállomány lineáris csökkenéséről számolnak be (például: Pfefferbaum et al., 1994; Reiss, Abrams, Singer, Ross, Denckla, 1996) az újabb longitudinális kutatások azonban eltérő mintázatot tapasztalnak (Giedd et al., 1999; Gogtay et al., 2004). A témában olvasható cikkek ma már egyetértenek abban, hogy az életkor előrehaladtával a szürkeállomány térfogatában bekövetkező változások nem lineárisak, továbbá (az előzőekben ismertetett szinaptikus denzitáshoz hasonlóan) területenként eltérő érési görbéket mutatnak, azonban ellentmondásokat találunk ezen fejlődési görbék idői lefolyását illetően. Giedd és munkatársai (1999) longitudinális MRI vizsgálatukban 4 és 22 éves kor között kísérelték meg a különböző idegrendszeri változások nyomon követését. Eredményeik szerint a szürkeállomány térfogatának változása a frontális és parietális lebenyek esetében nagyon hasonló mintázatot mutat, megközelítőleg 12 éves korban éri el a maximum értéket, majd egy csökkenés tapasztalható. A temporális lebenyben a maximum érték 16 éves kor körül mérhető, az okcipitális lebeny esetében pedig a szürkeállomány térfogatának növekedése egészen a 20-as évekig eltolódik. Érdekes módon, a vizsgálat során az életkorral összefüggő szürkeállomány-változásokban néhány régió esetében nemi különbségeket tapasztaltak, pontosabban a maximum értékek tekintetében szignifikáns késés figyelhető meg a fiúk/férfiak esetében a lányok/női résztvevőkhöz képest.

Gogtay és munkatársai (2004) szintén az egyes agykérgi áréak fejlődésének dinamikus anatómiai sorrendjét mutatták be 4 és 21 éves kor között, a szürkeállomány térfogatváltozásának elemzéséhez azonban az előzőnél pontosabb módszert alkalmaztak. Vizsgálatukban 13 egészséges gyermek vett részt, akiknek 2 évente készítették el az MRI felvételét. Eredményeik alapján úgy tűnik, hogy a szürkeállomány térfogata elsőként az elsődleges szenzomotoros területeken mutat csökkenést, ezt követően pedig kiterjed a frontális, okcipitális és parietális kérgi területekre, legvégül pedig a temporális kéreg területén figyelhető meg csökkenés (7. ábra). Bár a frontális lebeny esetében viszonylag hamar elkezdődik a szürkeállomány térfogatának csökkenése, a dorzolaterális prefrotális kéreg érése például egészen a serdülőkor végéig elhúzódik, az orbitofrontális régió az általuk vizsgált legidősebb életkorig fejlődik. Ezen eredmények arra utalnak, hogy elsőként az alacsonyabb rendű, szenzoros és motoros kérgi területek fejlődése megy végbe és csak ezt követően érnek

a magasabb rendű területek, amelyek a már korábban fejlődő területekről származó információkat is integrálják.



7. ábra: Az ábra a szürkeállomány térfogatváltozásának MRI felvételeit mutatja. A jobb oldali színes sáv az adott színekhez tartozó értékeket ábrázolja (forrás: Gogtay et al., 2004).

Fontos megjegyezni, hogy agykérgi területek szürkeállomány térfogatsökkenését főként a szinapszisok mennyiségének csökkenésével, a szinaptikus pruning jelenségével hozzák összefüggésbe (Paus et al., 2008), mely folyamat meghatározó a neurális fejlődés szempontjából (Cowan, Fawcett, O'Leary, & Stanfield, 1984).

A fehérállomány térfogatváltozásaira vonatkozóan szintén számos kutatást találunk. Több vizsgálat eredménye bizonyítja, hogy a fehérállomány mennyisége lineáris növekedést mutat egészen a 20-as évekig, továbbá a fejlődés görbéje (bár vannak kisebb eltérések) nem különbözik szignifikánsan az egyes lebenyekben (Giedd et al., 1999; Giedd, 2004; Paus et al., 1999). A fehérállomány esetében jelentkező változások szintén az idegrendszer érésének mutatói, hiszen úgy tűnik, hogy a mielinizáció folyamatát tükrözik, amely feltehetően facilitálja a különböző kognitív folyamatokat, a neurális feldolgozást (Giedd, 2004; Nagy, Westerberg, & Klingberg, 2004). Nagy és munkatársai (2004) 8-18 éves korú gyermekek körében végzett vizsgálata alapján a regionális fehérállomány változások olyan kognitív képességek fejlődésével mutatnak összefüggést, mint az olvasás, vagy az emlékezeti funkciók.

A fent részletezett vizsgálatokban az egyes idegrendszeri áréák strukturális és funkcionális fejlődését kíséreltük meg bemutatni a szürke- és fehérállomány térfogatában bekövetkező változásokon keresztül. A vizsgálatok összességében rávilágítanak arra, hogy az egyes területek esetében az érési folyamatok egészen a serdülőkor végéig elhúzódhatnak. Jól látható, hogy az egyik legkorábban érő terület a vizuális kéreg, ami nem meglepő, hiszen evolúciós szempontból vizsgálva a kérdést sok esetben a túlélést is szolgálhatja, ha az egyén sikeresen észleli az esetleges veszélyt, vagy például megfelelően különbözteti meg az ehető és a mérgező gyümölcsöket.

2.2 A vizuális kategorizáció fejlődésének elektrofiziológiai korrelátumai

Az előzőekben részleteztük, mindazon strukturális neurális változásokat – különös tekintettel a szürke- és fehérállomány térfogatának változását illetően – melyek akár a serdülőkor végéig, a fiatal felnőttkor elejéig is elhúzódhatnak, és amelyek mind hatással lehetnek a különböző kognitív funkciókra. Mindezek ellenére mégis nagyon kevés olyan elektrofiziológiai vizsgálatot találunk, melyek ezen életkorra fókuszálva vizsgálják kategorizációs folyamatok fejlődését és a mögöttes idegi aktivitás alakulását. Meglepő, hiszen a különböző eseményfüggő komponenseknek a fejlődés során bekövetkező változásainak elemzése fontos eszköze az egyes kognitív funkciók és a háttérben zajló idegrendszeri folyamatok strukturális, funkcionális érésének nyomon követésére (Segalowitz, Santesso, & Jetha, 2010).

Az egyik ilyen vizsgálatban Batty és Taylor (2002) 7-15 éves gyermekek és felnőttek bevonásával, színes komplex képek alkalmazásával egy kategorizációs feladat végzése közben vizsgálta a P1, N2 és P3 komponensek életkori változásait. Az általuk alkalmazott feladat egy ún. go/no go feladat volt, amely során a vizsgálati személyeknek csak az állatokat ábrázoló képek esetén kellett egy adott gombot megnyomniuk. Eredményeik szerint, mind a viselkedéses (pontosság és reakcióidő), mind az elektrofiziológiai korrelátumok esetében jelen vannak életkori hatások. Ezen eredmények pedig arra engednek következtetni, hogy bár a feladat egy nagyon egyszerű állat/nem állat döntési helyzet volt, a mögöttes idegrendszeri aktivitásban és a viselkedéses mutatókban egyaránt különbség figyelhető meg az egyes korcsoportok között. Példának okáért az általunk is vizsgált P1 hullám amplitúdója és latenciája egyaránt csökkenést mutat az életkor előrehaladtával, pontosabban a felnőtt csoportban regisztrált amplitúdó szignifikánsan kisebb a 12 éves és annál fiatalabb

gyermekcsoportokhoz viszonyítva, továbbá a felnőttek ezen komponens esetében jelentkező latenciáértékei rövidebbek az összes gyermekcsoporthoz képest, a gyermekcsoportok azonban szignifikánsan nem különböznek egymástól.

Arcok bemutatása során Itier és Taylor (2004) a P1 latencia esetében ugyancsak a fent említett életkori hatást tapasztalta, vagyis a gyermekcsoportok - az ő esetükben a 8-15 évesek - vizsgálat során jelentkező latenciája nem különbözött egymástól, míg a felnőttek esetében szignifikánsan rövidebb latencia mutatkozott. A P1 amplitúdóját tekintve folyamatos csökkenést tapasztaltak az életkor előrehaladtával. Az arcérzékeny N170 hullámnál a latencia rövidülését tapasztalták egészen 14-15 éves korig, amikor is a gyermekek elérik a felnőttekre jellemző értéket. Érdekes módon az N170 amplitúdójának esetében a fejlődés során nem csökkenés tapasztalható, hiszen a bár a gyermekcsoportok nem különböznek egymástól, 14-15 éves kor után az amplitúdó értékének növekedése figyelhető meg, így a felnőttek esetében jelentkezik a legkifejezettebb N170-es komponens.

A szakirodalom szerint az eseményfüggő potenciálok az információfeldolgozás során olyan funkcionális faktorok, kognitív folyamatok változásának mutatói, mint a figyelem, munkamemória, vagy a feldolgozási stratégiák fejlődése, fontos azonban kiemelni, hogy az egyes neurális régiók esetében bekövetkező strukturális változások szintén módosíthatják a vizsgálni kívánt komponensek amplitúdóját, latenciáját. Nem meglepő, hiszen ezen strukturális-funkcionális változások nem különíthetők el egymástól (Segalowitz et al., 2010). Úgy tűnik, hogy míg az egyes komponensek latencia-rövidülése főként a fehérállomány térfogatváltozásával és az egyes agyi régiók, látópályák fokozott mielinizációjával mutat összefüggést, addig az amplitúdók esetében tapasztalt változásokat leggyakrabban a szinapszisok sűrűségének alakulásával, a szürkeállomány térfogatának csökkenésével magyarázzák (Lippé, Roy, Perchet, & Lassonde, 2007; Picton & Taylor, 2007; Segalowitz et al., 2010; Tsuneishi & Casaer, 1997; Whitford et al., 2007).

A fentiekben bemutatott eredmények a komplex, természetes vizuális ingerek kategorizálása (Batty & Taylor, 2002), valamint az arcészlelés (Itier & Taylor, 2004) iskoláskorban bekövetkező változására, fejlődésére vonatkozóan nyújtanak információkat, kérdés azonban, hogy ezeket a hatásokat hogyan befolyásolja a magnocelluláris és parvocelluláris pályák fejlettsége, valamint, hogy a két csatorna által szállított információk milyen szerepet töltenek be az életkor előrehaladtával, még mindig megválaszolatlan. A következőkben az M- és P-csatornák fejlődésére fókuszálunk, kezdetben a viselkedéses, majd az elektrofiziológiai vizsgálatok eredményeinek áttekintését keresztül.

2.3 A magnocelluláris és parvocelluláris vizuális csatornák fejlődése

A magnocelluláris és parvocelluláris pályák fejlődésére irányuló kutatások között néhánytól eltekintve (például Peters, Vlamings, & Kemner, 2013 vizsgálatában arcok esetén) főként olyan kutatásokat találunk, melyekben mesterséges, absztrakt ingereket alkalmaznak, továbbá gyakran a kontrasztérzékenység és az egyes térbeli frekvenciákra való érzékenység együttes vizsgálata figyelhető. Adams és Courage (Adams & Courage, 1993; Adams, Mercer, & Courage, 1992; Adams & Courage, 2002) vizsgálatsorozatában csecsemőkortól egészen 9 éves korig vizsgálta a kontrasztérzékenység fejlődését az egyes térbeli frekvenciák esetében. Eredményeik alapján úgy tűnik, hogy születéskor, kora csecsemőkorban, az első néhány hónapban a vizuális információ feldolgozása, vagyis a minket körülvevő környezet eleminek elemzése során a magnocelluláris pálya által szállított információ a meghatározó, tehát ebben az időszakban a gyermekek főként homályos képek formájában elemzik a környezet ingereit (például: 2. ábra bal oldali része). Ezzel összhangban ugyancsak a parvocelluláris pálya fejletlenségéről számolt be Dobkins, Anderson és Lia (1999). Később, gyermekkorban egy ezzel ellentétes mintázat figyelhető meg, hiszen, ezt követően a parvocelluláris pálya gyors érése tapasztalható, és úgy tűnik, hogy viszonylag korán, 3-6 éves kor körül már eléri a felnőttekre jellemző szintet (Adams & Courage, 2002). Ezzel ellentétben az M-csatorna lassabb érésével kell számolnunk, hiszen ezen pálya fejlődése egészen 9-12 éves korig elhúzódik (Adams & Courage, 2002; Benedek et al, 2010). Ugyancsak az M-csatorna elhúzódó fejlődésére utalnak a mozgáskoherencia küszöb vizsgálatátokból származó eredmények (Gunn et al., 2002), a szinuszos luminancia-kontraszt rácsokat (Benedek, Benedek, Kéri, & Janáky, 2003), továbbá az ún. illuzórikus flicker-kontraszt feladatokat alkalmazó kutatások adatai is (Barnard, Crewther, & Crewther, 1998).

Érdekes módon azonban egy nagyon friss kutatás eredményei szerint, melyben a magas térbeli frekvenciák diszkriminációs küszöbét vizsgálták, a magas térbeli frekvenciák megkülönböztetésének fejlődése 12 éves kor után is folytatódik (van den Boomen & Peters, 2017), mely az MTF feldolgozásának elhúzódó érésére utal szemben a korábbi vizsgálatokkal.

Fontos tehát észrevennünk, hogy bár az első életév során jelentős fejlődés tapasztalható látásunkban, a vizuális információ különböző jellemzőinek feldolgozása, így például az egyes térbeli frekvenciákra való érzékenység fejlődése még iskoláskorban is folytatódik.

2.3.1 A magnocelluláris és parvocelluláris pályák fejlődésének elektrofiziológiai vizsgálata

A csecsemők körében végzett viselkedéses vizsgálatok eredményeit, miszerint csecsemőkorban, az első néhány hónapban, a magnocelluláris csatorna által szállított információ a meghatározó (Adams & Courage, 2002; Dobkins et al., 1999), melyet Hammarrenger és munkatársai (2003) elektrofiziológiai kutatása is megerősíti. Az újszülött és 52 hetes csecsemők körében végzett vizsgálat eredményei szerint az alacsony térbeli frekvenciákra érzékeny P1-es komponens hamarabb regisztrálható, hiszen már születésüktől kezdve jelen van, valamint amplitúdójában is hamarabb tapasztalható csökkenés szemben az C1-es hullámmal (általuk N1-nek hivatkozott), mely főként a magas térbeli frekvenciák feldolgozásával mutat összefüggést. A szerzők szerint ezen eredmények arra utalhatnak, hogy a születést követően a magnocelluláris csatorna érése korábban kezdődik, és gyorsabb ütemben történik (Hammarrenger et al., 2003).

Az egyik friss kutatásban van den Boomen, Jonkman, Jaspers-Vlamings, Cousijn és Kemner (2015) fekete-fehér rácsmintázatok alkalmazásával az alacsony és magas térbeli frekvenciák szelektív feldolgozásának fejlődési változásait vizsgálták az okcipitális területek felett jelentkező korai vizuális eseményfüggő komponensek elemzésén keresztül, 3-15 éves gyermekek körében (5 csoport: 3-4, 5-6, 7-8, 9-10 és 14-15 évesek). A térbeli frekvenciákat a rácsmintázatok vízszintes sávjainak vastagságának változtatásával manipulálták, így a szélesebb sávok az alacsony térbeli frekvenciájú információknak felelnek meg, vagyis a magnocelluláris pályát stimulálják, míg a keskeny sávokra, így a magas térbeli frekvenciákra a parvocelluláris pálya mutat érzékenységet. Mivel 3 és 6 éves kor között regisztrált C1-es hullám (általuk N80-ként hivatkozott) amplitúdója szinte a nulla microvolt-ot közelítette, továbbá az idősebb korosztályokban is csak a magas térbeli frekvenciák által kiváltott komponens volt egyértelműen azonosítható, így az elemzéseket csak a 7-15 éves kor között és csak a MTF-k esetében végezték el, mely során az életkorral összefüggő amplitúdóváltozásokat nem tapasztaltak. A P1 komponens amplitúdója 7-8 éves korig emelkedést mutat, majd ezt követően 14-15 éves korig szignifikáns csökkenést tapasztaltak mindkét ingertípus vizsgálatokor. A N1-nél (általuk N2-ként hivatkozott) 5-6 éves kortól szintén az amplitúdó csökkenését figyelték meg, de szignifikáns különbséget 5-6 és 7-8 éves kor között tapasztaltak az ATF ingereknél, valamint 7-8 és 9-10 éves kor között MTF információ esetén. Az C1 és N1 komponensnél tapasztalt életkorral összefüggő amplitúdó változásokból az MTF vs. ATF ingerek esetén, a szerzők a magas térbeli frekvenciák

feldolgozásának érése (9-10 éves korig) még iskoláskor elején is folytatódik, mely ellentmond a viselkedéses vizsgálatok azon eredményeinek, mely szerint az MTF feloldozásnak fejlődése már 3-6 éves korra befejeződik (Adams & Coruage, 2002). A térbeli frekvenciák moduláló hatásának elemzésekor nagyobb amplitúdójú P1-es komponenst tapasztaltak az ATF sávokra (a 3-4 és a 9-10 éves korcsoportnál a különbség nem bizonyult szignifikánsnak), míg a C1 és N1 hullámok esetében a MTF ingerek váltottak ki nagyobb amplitúdót. Bár az amplitúdók tekintetében vannak életkori hatások, fontos észrevennünk, hogy az egyes komponensek térbeli frekvenciákra jelentkező érzékenysége nagyon hasonló mintázatot mutat a korábban ismertetett felnőtt vizsgálatok eredményeivel, vagyis, míg a P1 komponens az alacsony térbeli frekvenciákra (Ellemberg et al., 2001; Hansen et al., 2011), addig a C1 és N1 komponens a magas térbeli frekvenciákra érzékeny (Craddock et al., 2013, 2015; Foxe et al., 2008).

Hasonló eredményekről számolt be egy másik ERP tanulmány, hiszen az M-pálya esetében 5 éves kor után nem találtak életkorral összefüggő változásokat, ellenben eredményeik arra utalnak, hogy a parvocelluláris csatorna fejlettsége 11 évvel korban éri el a felnőttekre jellemző mintázatot (Gordon & McCulloch, 1999).

Mahajan és McArthur 2012-es vizsgálatukban sakktábla-mintázatokat mutattak be a serdülő részvevőknek, így vizsgálva a térbeli frekvenciák eseményfüggő potenciálokra gyakorolt hatását az életkor előrehaladtával. A vizsgálatukban 10-18 év között a serülők 8 korcsoportja és felnőttek vettek részt. Eredményeik szerint a P1 komponens (általuk P100-ként hivatkozott) amplitúdója szignifikánsan nagyobb a nagy méretű négyzetek (alacsony térbeli frekvenciák) esetén, a közepes és kis négyzetekhez viszonyítva. Ezzel szemben nagyobb negativitás figyelhető meg a C1 (általuk N75-ként hivatkozott) és N1 hullámok (általuk N135-ként hivatkozott) esetében a négyzetek méretének csökkenésével (magas térbeli frekvencia). Ezen eredmények tehát, van den Boomen és munkatársai (2015) vizsgálatával összhangban arra utalnak, hogy a korai vizuális komponensek térbeli frekvenciákra való érzékenységének mintázata ebben az életkorban a felnőttekéhez hasonló. Mindhárom általuk vizsgált komponens esetében tapasztaltak életkorral összefüggő változásokat, pontosabban, míg a C1 és P1 amplitúdója csökkent, addig az N1 hullám esetében egyre nagyobb negativitást figyeltek meg az életkor előrehaladtával. Megemlítik azonban, hogy az N1 komponensnél tapasztaltak a P1 hatásának áttevődéséből is adódhat, vagyis a P1 életkorral összefüggő amplitúdó csökkenése miatt válik egyre negatívabbán az N1 amplitúdója. Összességében Mahajan és McArthur (2012) ezen eredmények alapján arra következtettek,

hogy a vizuális feldolgozás fejlődése, a parvocelluláris és magnocelluláris pályák érése még serdülőkorban is folytatódik.

Érdekes módon Boeschoten, Kenemans, Engeland és Kemner (2007), bár van den Boomen és munkatársaihoz (2015) hasonlóan alacsony és magas térbeli frekvenciájú ingereket mutattak be a mintában szereplő 9-10 éves gyermekeknek, a vizsgálat során a magas térbeli frekvenciájú ingerek esetén regisztráltak nagyobb amplitúdójú P1-es komponenst, mely arra utalhat, hogy ebben az életkorban a P1 hullám háttérében működő neuronpopuláció sokkal inkább a MTF-ra érzékeny. Ezen fordított mintázat a korábbiakban bemutatott viselkedéses vizsgálatok eredményeivel van összhangban, melyek az M-csatorna kései, serdülőkorban is tartó érése mellett érvelnek (Adams & Courage, 2002; Benedek et al., 2010). A C1 komponens (általuk N80-ként hivatkozott) időintervallumában az előző két vizsgálathoz hasonlóan a magas térbeli frekvenciák váltanak ki nagyobb negativitást 9-10 éves korú gyermekek körében végzett vizsgálat eredményei alapján (Boeschoten, et al., 2007).

Mesterséges ingerek helyett Peters, Vlamings és Kemner (2013) eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú módosított arcokat alkalmazva vizsgálták az arcészlelés neurális háttérének fejlődését 9-10 éves gyermekek, 14-15 éves serdülők, valamint fiatal felnőttek (21-29 év) bevonásával. Mind a P1, mind az N170 hullám esetében életkori változásokat figyeltek meg, azonban míg a P1 komponens amplitúdója csökkenést mutatott az életkor előrehaladtával, addig az N170 hullám a fiatal felnőtt csoport esetében volt a legkifejezettebb, hasonlóan Itier és Taylor (2004) korábban bemutatott, az arcészlelés fejlődéséhez kapcsolódó kutatásához. Az eredmények közül fontos továbbá kiemelnünk, hogy az egyes képtípusok által kiváltott eseményfüggő potenciálok eltérő mintázatot váltanak ki az egyes korcsoportok esetében, hiszen az okcipitális területek felett jelentkező P1 hullámnál a 9-10 éves korcsoportnál nem, csak a serdülők és a felnőttek csoportjánál figyelhető meg a térbeli frekvenciák moduláló hatása. Mindkét csoport esetében nagyobb amplitúdó mutatkozik az eredeti és az ATF arcok esetében, összehasonlítva a csak magas térbeli frekvenciákat tartalmazó módosított arcokkal. Az N170 változásainak elemzésekor csak a gyermek csoport esetében figyeltek meg nagyobb amplitúdót az ATF és eredeti ingerekre az MTF képekhez viszonyítva. Vagyis arcok esetén életkori hatásokat tapasztaltak a komponensek térbeli frekvenciálra való érzékenységét illetően. A vizsgálat során egyenes állású arcok mellett, fordított állású arcokat is bemutatottak a vizsgálati személyeknek, melynek köszönhetően az ún. arc inverziós hatás (face inversion effect - FIE) életkori sajátosságait is nyomon követhették. Az arcészlelés egyik sajátossága, hogy nem az arc részletei, hanem azok konfigurációs

tulajdonságai alapján hozzuk meg a döntést, az arcot egy egészként dolgozzuk fel. Az arcok fejjel lefelé történő bemutatása azonban zavarja az ilyen típusú konfigurációs, holisztikus feldolgozást (Yin, 1969, idézi: Peters et al., 2013). A felnőttek körében végzett vizsgálatok eredményei alapján FIE az N170 komponens esetében figyelhető meg (inverzió esetén nagyobb amplitúdó és hosszabb latencia) és csak az ATF információ jelenlétében (Goffaux et al., 2003). Peters és munkatársai eredményei alapján a FIE a gyermekek esetében a feldolgozás korai szakaszában a P1 komponensnél jelentkezik, míg felnőttkorban ez a hatás csak az N170-es komponensnél érhető tetten. Érdekes módon serdülőkorban mindkét hullámnál jelen van a hatás, ezzel mintegy hibrid feldolgozást sugallva. Ennél is fontosabb azonban, hogy úgy tűnik, hogy a különböző életkorokban a FIE megjelenését eltérő térbeli frekvenciatartományok határozzák meg, hiszen míg a serdülők és a felnőttek esetében az N170 arc inverziós hatás a csak alacsony térbeli frekvenciákat tartalmazó képek bemutatása során jelentkezik, addig a gyermekcsoportnál mind az alacsony, mind a magas térbeli frekvenciák kiváltják ezen hatást a P1 komponens időintervallumában. Ezen eredmények alapján úgy tűnik, hogy az életkor előrehaladtával az arcészlelésben egyre inkább az alacsony térbeli frekvenciájú információ válik dominánssá (Peters et al., 2013).

Az egyes komponensek latenciájának tekintetében az eredmények szintén nagy változatosságot mutatnak. Az előzőekben bemutatott mesterséges ingereket (rácsmintázatokat és sakktáblamintákat) alkalmazó vizsgálatok a C1, P1 valamint az N1 komponensek egyikénél sem számoltak be az életkorral összefüggő latenciaváltozásokról, azonban eredményeik szerint szignifikánsan rövidebb latencia regisztrálható az alacsony térbeli frekvenciájú ingerek bemutatása során, szemben a magas térbeli frekvenciájú stimulusokkal (Mahajan & McArthur, 2012; van den Boomen et al., 2015). Ezzel ellentétben a komplex ingerek, vagyis alacsony és magas térbeli frekvenciájú arcok esetén Peters, Vlamings és Kemner (2013) valamelyest eltérő mintázatot tapasztalt, hiszen mindkét általuk vizsgált komponensnél (P1 és N170) életkori hatásokat figyeltek meg, pontosabban az életkor növekedésével, rövidült a latencia. A térbeli frekvenciák hatásának elemzésekor az előző vizsgálatokhoz hasonlóan az N170 komponens esetében rövidebb latencia mutatkozott az ATF arcoknál, a P1 esetében ez a hatás azonban érdekes módon csak a 9-10 éves gyermek csoportnál jelentkezett. Mivel Boeschoten és munkatársai (2007) vizsgálatában csak egy korcsoport (9-10 évesek) szerepelt, így az életkori hatásokra vonatkozóan nem tudunk következtetéseket levonni, azonban a térbeli frekvenciák módosító hatását illetően a C1 és P1

komponenseknél egyaránt rövidebb latenciáértékeket figyeltek meg az alacsony térbeli frekvenciájú ingerek bemutatása során.

Összességében tehát jól látható, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák szelektív feldolgozásának gyermek- és serdülőkorban bekövetkező fejlődésére vonatkozó elektrofiziológiai vizsgálatok eredményei korántsem egyértelműek, hiszen több ellentmondást találunk, mind az életkor előrehaladtával bekövetkező változásokra vonatkozóan, mind pedig a térbeli frekvenciák moduláló hatását illetően.

2.4 Összefoglalás

A fejezet elején röviden bemutatunk néhány vizsgálatot a csecsemőkorban megfigyelhető kategorizációs képességek fejlődéséről, illetve pár mondat erejéig megemlítettük a fejlődés háttérében meghúzódó folyamatokkal kapcsolatos szakirodalomban olvasható elméleteket, vitát. Ezt követően kitértünk mindazokra a fejlődés során bekövetkező neurális változásokra, melyek befolyásolhatják azon képességünk fejlődését, melynek köszönhetően a különböző tárgyakat különböző kategóriákba soroljuk. Az elmúlt 15 évben az egyes képalkotó eljárások fejlődésének köszönhetően ugrásszerűen megnövekedett azoknak a kutatásoknak, tanulmányoknak a száma, amelyek az emberi agy strukturális és funkcionális fejlődésének vizsgálatát tűzték ki célul (Paus et al., 2008). Ezen - az agy főként szürke- és fehérállomány térfogatváltozásának vizsgálatára vonatkozó - kutatások többek között rámutattak arra, hogy bár a hátulsó, vizuális területek érése viszonylag korán befejeződik, a frontális és temporális kérgi területek érése, akár serdülőkor végéig elhúzódhat (Gogtay et al., 2004), mely hatással lehet a körülöttünk lévő tárgyak kategorizációjára. Mindezek ellenére mégis nagyon kevés olyan elektrofiziológiai vizsgálatot találunk, melyek ezen életkorra, vagyis az iskoláskorra fókuszálva vizsgálják a kategorizációs folyamatok fejlődését és a mögöttes idegi aktivitás alakulását. Az általunk ismertetett vizsgálatok rámutattak arra, hogy mind komplex képek kategorizációja, mind az arcészleléshez vizsgálata során életkori hatások figyelhetők meg az elektrofiziológiai korrelátumok esetében még iskoláskorban is (Batty & Taylor, 2002; Itier & Taylor, 2004). A fejezet következő nagyobb egységében a magno- és parvocelluláris pályák érésére, az alacsony és magas térbeli frekvenciák feldolgozásának fejlődésére vonatkozó viselkedéses, majd elektrofiziológiai vizsgálatokat ismertettük, melyek főként mesterséges ingereket alkalmaznak. Ezek eredményei gyakran ellentmondásosak, hiszen egyesek az M-pálya elhúzódó, akár 9-12 éves korig folytatódó érésére hívják fel a figyelmet (Adams &

Courage, 2002; Barnard et al., 1998; Benedek et al, 2010), újabb eredmények azonban a magas térbeli frekvenciák feldolgozásának elhúzódó fejlődésére hívják fel a figyelmet (van den Boomen & Peters, 2017).

A kategorizációs folyamatok, valamint az M- és P-pályák működésének, az alacsony és magas térbeli frekvenciájú információfeldolgozásának vizsgálata fontos, hiszen számos vizsgálat is igazolta a magnocelluláris pálya fokozott sérülékenységet. Több fejlődési zavar esetében is beszámoltak a magnocelluláris/dorzális rendszer szelektív sérüléséről, gyengébb működéséről, mint például autizmus spektrumzavarban (Deruelle et al, 2004; Sutherland & Crewther, 2010), Williams-szindrómában (Atkinson et al, 1997), vagy fejlődési diszlexiában (Demb et al., 1998a, 1998b; Eden et al., 1996; Hansen et al., 2001; Stein, 2001). Elektrofiziológiai vizsgálatsorozatunk harmadik szakaszában fejlődési diszlexiások csoportját vizsgáljuk, így a következő nagyobb fejezetben ezen tanulási zavarral foglalkozunk részletesebben.

3 A FEJLŐDÉSI DISZLEXIA ELMÉLETI MEGKÖZELÍTÉSEI

Az utóbbi években a fejlődési zavarok kutatásában, így az olvasási zavarok vizsgálatában is egyre nagyobb szerephez jut az interdiszciplinaritás, melyben az idegtudományok, a neveléstudomány, nyelvészet, pszicholingvisztika, logopédia, stb. működnek együtt a háttérben meghúzódó folyamatok minél pontosabb feltárásához. A viselkedéses vizsgálatok mellett egyre inkább növekszik a különböző agyi képalkotó és elektrofiziológiai módszereket alkalmazó vizsgálatoknak a száma, melyeknek célja feltérképezni az olvasás háttérében meghúzódó agyi hálózatokat, vagy éppen segítenek megismerni, hogy az agy egyes régióinak szerkezeti és/vagy működési anomáliái hogyan vezethetnek olvasási zavarok, diszlexia kialakulásához (Csépe, 2006; Tóth & Csépe, 2008).

3.1 Mi a diszlexia?

A szakirodalomban számos meghatározást találunk a fejlődési diszlexiára vonatkozóan, hiszen - ahogyan a későbbiekben majd látni fogjuk - a nagyszámú vizsgálatok ellenére továbbra sem tisztázott, hogy mi állhat kialakulásának háttérében. Bár a fejlődési diszlexia meghatározása továbbra sem egységes, ma a gyakorlatban és a különböző kutatásokban, diszlexiásoknak tekintik azokat, akiknek olvasási teljesítménye jelentősen eltér (gyengébb) az életkor, illetve IQ alapján várttól (Csépe, 2006, 2008; Tóth & Csépe, 2008). Az olvasási teljesítményben tapasztalható eltérés nem magyarázható gyenge motivációval, továbbá nem tudható be érzékszervi, vagy oktatási hátránynak, fizikai vagy pszichiátriai problémáknak (Stein, 2001). Bár az értékek kissé módosulhatnak, úgy tűnik, hogy iskoláskorú gyermekek körülbelül 4-10%-át érinti, továbbá előfordulása 2-3-szor gyakoribb a fiúk körében (Csépe, 2014; Katusic, Colligan, Barbaresi, Schaid, & Jacobsen, 2001; Shaywitz, Shaywitz, Fletcher, & Escobar, 1990; Stein & Walsh, 1997).

A fejlődési diszlexia DSM-IV (American Psychiatric Association, 1995) meghatározásában további feltételként szerepel, hogy az olvasás pontosságát, és megértését standardizált tesztekkel kell mérni. Fontos megjegyeznünk, hogy a magyarországi gyakorlatban a diagnosztika során a standardizált teszt alapfeltétele nem teljesül, nincsenek ugyanis standardizált olvasási tesztek (Csépe, 2006). A gyakorlatban leginkább használatos diagnosztikus eszköz a Meixner Ildikó nevéhez fűződő olvasásvizsgálat, vagy olvasólapok

használata (Lőrík, é.n.). Az olvasólapok az általános iskola egyes osztályfokaira lettek kifejlesztve, a teszten elért teljesítmények értékelésében pedig az olvasási időt és a hibázások számát kell figyelembe venni (Meixner, 1993).

Magyarországon az egészségügyben, a diagnosztikus gyakorlatban a leginkább leterjedt BNO-10 rendszer (1995, Betegségek Nemzetközi Osztályozása, a WHO 1992-ben kiadott ICD-10 International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems című kiadványa alapján) a diszlexiát az iskolai teljesítmény specifikus fejlődési rendellenességei között tárgyalja, és olyan zavar, melyben az olvasási készségek megszerzésének a normális menete válik zavarttá. A BNO-10 diagnosztikai kritériumai a DSM-IV rendszeréhez hasonlóak, pontosabban: „Az olvasási készségek fejlődésének szignifikáns és meghatározott romlása, nem írható kizárólag látásélesség, szellemi érettség, vagy nem megfelelő iskoláztatás rovására. Az olvasáshoz szükséges részfeladatok, szófelismerés, orális olvasási készségek, olvasásértési készség, elsajátítása mind sérült.” (BNO-10, 1995, 337. o.). Emellett rendszerint megelőzi a beszéd és nyelvi fejlődés zavara. A BNO-10 a Meghatározott olvasási zavar (dyslexia) elnevezést használja, kódja F81.0.

A DSM rendszer legutóbbi, 2013-as (American Psychiatric Association, 2013) kiadásában, a DSM-V-ben a Specifikus tanulási zavar olvasási zavarral kifejezés szerepel, vagyis a DSM-V a specifikus tanulási zavarok egyik altípusaként jellemzi, melyben az olvasás károsodása a hangsúlyos. Fontos szempont az olvasás pontossága, az olvasás sebessége és folyékonysága, illetve az olvasott anyag megértése. Megjegyzi, hogy „a diszlexia kifejezés egy alternatív elnevezés a tanulási zavarok olyan mintázatára, amelyet a pontos, vagy folyékony szófelismerés problémája, gyenge dekódolási és betűzési képesség jellemez. Ha diszlexiaként határozzuk meg a nehézségek ilyen mintázatát, fontos, hogy minden egyéb megjelenő nehézséget is meghatározzunk, mint pl. nehézségek az olvasott szöveg megértésében, vagy a matematikai érvelésben.” (DSM-V, 2013, 100. o.). Ez alapján főként a szóolvasás pontosságára és fluenciájára, s kevésbé a szövegértés nehézségeire fókuszál. A DSM-V klasszifikációs rendszer az idegrendszer fejlődési zavarai közé sorolja, hangsúlyozva biológiai eredetét.

Bár a szocioökonómiai változók, valamint a különböző családi tényezők hatással vannak az olvasási képességek fejlődésére, mégis úgy tűnik, hogy nincs semmilyen ok-okozati összefüggés az előbb említett faktorok és a diszlexia kialakulása között (Vellutino, Fletcher, Snowling & Scanlon, 2004). Csépe (2014) szerint, a különböző szocioökonómiai státuszra és az olvasás kapcsolatára vonatkozó vizsgálatok alapján feltételezhetjük, hogy a megfelelő

környezeti feltételek hiányából származó olvasási problémák jól megválasztott intervenciók program segítségével javíthatók, vagyis az egyes agyi hálózatok megfelelő működése formálható. A diszlexiások esetében azonban ez nem érvényes, hiszen az olvasás mögött meghúzódó agyi hálózat atipikus működése és jellemzői miatt csak ettől eltérő agyi hálózatokhoz kapcsolódó kompenzációk alakíthatók ki. Vagyis ez alapján a gyengén olvasás nem azonos a diszlexiás olvasási zavarral, nem ugyanazokra az okokra vezethetők vissza, továbbá az idegtudományi vizsgálatok is ezt a nézetet erősítik. Itt ismételt ki kell tennünk a standardizált tesztek hiányának problematikájára, hiszen a gyakorlatban alkalmazott olvasásvizsgálattal, az olvasási sebesség, és a hibák száma alapján nem minden esetben választható szét a valódi diszlexia, illetve az egyéb okokra visszavezethető olvasási gyengeség (Csépe, 2006, 2008).

Összességében tehát, a kutatásokból származó szakirodalmi adatok és a gyakorló szakemberek tapasztalatai alapján erősödni látszik a megközelítés, mely szerint a „diszlexia összetett fejlődési zavar, azaz olyan olvasási zavar szindróma, amelynek vezető tünete az olvasás és szövegértés elégtelen, az iskolai teljesítményt jelentősen nehezítő szintje, és amely a megismerő funkciók rendszerében atipikus fejlődés következmény.” (Csépe, 2008, 82. o.). Nem győzzük tehát hangsúlyozni, hogy a fejlődési diszlexia komplexitása megnehezíti a zavar pontos megismerését, feltárását, illetve egy pontos definíció meghatározását (Csépe, 2006, 2008). Kutatásunk célja, hogy a komplex alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú képek segítségével, az EEG módszerének alkalmazásával vizsgáljuk, az agyi aktivitást egy vizuális kategorizációs feladat végzése közben, ezzel közelebb kerülve a diszlexia idegrendszeri hátterének feltárásához. Vizsgálatunkban diszlexiásoknál eddig még nem használt paradigmával kísérjük meg diszlexia magnocelluláris deficit elméletének tesztelését. Fontos, hogy jelen dolgozatban az olvasástanulás és olvasáselsajátítás komplex folyamatára nem térünk ki, célunk a diszlexia kialakulásával kapcsolatos elméletek áttekintése, különös tekintettel a magnocelluláris/dorzális rendszer sérülését feltételező megközelítésekre.

3.2 A fejlődési diszlexia kialakulásának főbb elméleti megközelítései

A fejlődési diszlexia kialakulásának magyarázatára, a háttérben meghúzódó különböző deficitekre vonatkozóan számos elmélet született, melyek közül dolgozatunkban a leginkább elterjedteket igyekszünk röviden sorra venni. Megjegyezzük, hogy nem célunk az egyes

elméletek különböző változataira kitérni. A fejezet későbbi szakaszában részletesen bemutatjuk a disszertáció témája szempontjából leginkább releváns elméleteket, vagyis a magnocelluláris/dorzális rendszer érintettségét feltételező megközelítéseket tekintjük át. Annak ellenére, hogy a diszlexia előfordulási gyakorisága viszonylag magas, a nagyszámú vizsgálatok ellenére továbbra sem tisztázott, hogy pontosan mi állhat a kialakulásának a hátterében.

Az egyik talán leginkább elterjedt elmélet a nyelvi területek fejlettségének fontosságát hangsúlyozza, és úgy gondolja, hogy ezen belül is a fonológiai tudatosság szintje a meghatározó. A fonológiai deficit hipotézis lényeges komponense, hogy a gyengén fejlett fonológiai reprezentáció, a gyenge fonológiai tudatosság, vagyis a szavakat alkotó fonológiai egységekkel való műveletvégzés éretlensége, a graféma-fonéma megfeleltetés nehezítettsége vezet a gyenge olvasási teljesítményhez (például: Bradley & Bryant, 1978; Wagner & Torgesen, 1987). A hipotézist támogatják azok az eredmények, melyek szerint a diszlexiások gyenge teljesítményt nyújtanak a különböző fonológiai feladatokban (Ramus et al., 2003), továbbá úgy tűnik, hogy a korai években megjelenő fonológiai gyengeségek előre jelzik a későbbi olvasási és helyesírási zavarokat (Bradley & Bryant, 1983). A fonológiai deficit domináns megközelítései ok-okozati összefüggést látnak a fonológiai deficit, illetve az olvasási zavarok megjelenése között. Fontos azonban, hogy a fonológiai deficit hipotézis nem tud magyarázatot adni számos olyan eltérésre, amelyek nincsenek bizonyítható kapcsolatban a nyelvvel, mégis gyakran tapasztalható diszlexiások esetében (Tóth & Csépe, 2008).

Mások a gyors hallási feldolgozás deficitjét (rapid auditory processing deficit) feltételezik a diszlexia kialakulásának hátterében. Eszerint, a szintén egyfaktoros magyarázat szerint, a diszlexiások esetében jelentkező zavarok a rövid, gyorsan változó auditív ingerek észlelésének zavarából ered, mely fonológiai deficit kialakulásához vezet (Tallal, 1980, 2004).

Egyes megközelítések szerint a fejlődési diszlexiát szindrómaként, az olvasásfejlődési zavar szindrómájaként kell szemlélnünk, így elképzelhető, hogy sokkal inkább az agyi hálózatok kapcsolatrendszerében, a különböző modalitásközi kapcsolódási problémákról kell beszélnünk (Tóth & Csépe, 2008). Egy képalkotó vizsgálati módszert alkalmazó kutatás eredményei szerint a vizsgálatban résztvevő felnőtt diszlexiások agya nem tesz különbséget a kongruens és inkongruens betű-hang párok bemutatása során (Blau et al., 2010), mely a betű-hang asszociációk nem megfelelő feldolgozásából eredeztethető.

Az ún. cerebelláris deficit elmélet a diszlexia hátterében a cerebellum, vagyis a kisagy enyhe diszfunkcióját feltételezi, mely számos kognitív nehézséget eredményezhet (Nicolson et al., 2001). Egyrészt a kisagy fontos szerepet játszik a motoros kontrollban és így artikulációs mozgások alakulásában. Kezdetben a kisagyi sérülés enyhe motoros, artikulációs problémákat eredményez, mely azonban a fonológiai tudatosság sérüléséhez vezethet. Másrészt a kisagy ugyancsak fontos szerepet tölt be a különböző készségek automatizálódásában - mint például a vezetés, írás, vagy az olvasás - mely ily módon az olvasás folyamatában hatással lehet a graféma-fonéma megfeleltetésre és az olvasás-írás folyamatának készségszintű elsajátítására és automatizációjára. Az elméletet támogatják a különböző motoros feladatokat alkalmazó vizsgálatokból származó eredmények (Fawcett, Nicolson, & Dean, 1996), továbbá agyi képalkotó módszerekkel kimutatott anatómiai, metabolikus és aktivációs különbségek a diszlexiások esetében (Linkersdörfer, Lonnemann, Lindberg, Hasselhorn, & Fiebach, 2012; Nicolson et al., 1999; Rae et al., 1998)

A szakirodalmat olvasva olyan eredményt és megközelítést találunk, mely a diszlexia többkomponensű természete mellett érvel. Wolf és Bowers (1999) ún. kettősdeficit-elméletükben, a korábbi fonológiai deficit és a gyors automatikus megnevezési sebesség (rapid automatized naming - RAN) vizsgálatára irányuló kutatásokból származó eredményeket integrálva, a diszlexia kialakulásának két lehetséges forrását különböztetik meg. A fonológiai deficit hipotézist korábban már említettük, azonban a diszlexiások esetében gyakran számolnak be a gyors megnevezés diszfunkciójáról. A gyors megnevezés feladat során ismerős, sőt túltanult vizuális ingereket (pl. szimbólumokat, színeket, formákat, betűket) kell megnevezni időnyomás alatt. Denckla és Rudel (1976) vizsgálatukban az általuk alkalmazott RAN-feladatokban nyújtott teljesítmények alapján összefüggést figyeltek meg a megnevezési sebesség és az olvasási teljesítmény között. A szakirodalomban vita tárgyát képezi, hogy a RAN-feladatok során mért teljesítmények mennyiben jeleznek általános kognitív zavart (mint a feldolgozási sebesség, vagy az idői feldolgozás zavarát; Kail & Hall, 1994), vagy pedig sokkal inkább egy nyelvspecifikus képességgként kell tekintetünk, mely a fonológiai kód emlékezetből történő előhívásának nehezítettségét mutatja (Wagner et al., 1997). A kettős deficit hipotézise szerint a diszlexiának három altípusa különböztethető meg attól függően, hogy csak fonológiai deficit jellemzi, csak a megnevezési sebesség lassú, vagy pedig a kettő kombinációjával jellemezhető. Úgy tűnik, hogy ez utóbbi esetben súlyosabb olvasási zavarok figyelhetők meg, mint azon tanulók esetében, akiknél a fonológiai deficit, vagy a megnevezés lassúsága izoláltan jelenik meg (Norton & Wolf, 2012; Wolf & Bowers,

1999; Wolf, Bowers, & Biddle, 2000). Norton és munkatársai (2014) az fMRI módszert alkalmazva, a kettős deficit elméletet szem előtt tartva vizsgálták a fent említett diszlexiások három csoportjának, illetve a jól olvasó kontrollcsoport teljesítményét, valamint idegi aktivitását. A csak egy deficittel jellemezhető csoportokhoz kapcsolódó eredményének és agyi aktivitás mintázatok összhangban vannak a korábbi eredményekkel, továbbá a szerzők szerint eredményeik arra utalnak, hogy azon gyermekek esetében, akiknél a kettős deficit teljesül, figyelhető meg a legnagyobb agyi aktiváció csökkenés, mind a gyors megnevezéshez, mind a fonológiai tudatossághoz kapcsolódó területek esetében.

Szintén a folyamat komplexitását igyekeznek megragadni a vizuális figyelem szerepét hangsúlyozó megközelítés is, mely szerint a vizuális figyelem terjedelme, vagy gyengesége az, ami elsődlegesen befolyásolja az olvasási teljesítményt, függetlenül a fonológiai deficit meglététől (Bosse et al., 2007). A szerzők angol, illetve francia gyermekek körében végzett vizsgálatok eredményei alapján a diszlexiás résztvevők többségénél vagy fonológiai deficitet, vagy szűk vizuális figyelmi terjedelmet figyeltek meg és csak kevés esetben mindkettőt. A vizsgálat egyik gyengeségeként fogalmazható meg azonban, hogy az egyes feladatokban csak betűket alkalmaztak ingerként, mely alapján nem vonhatunk le általános következtetéseket a vizuális figyelmi folyamatokra vonatkozóan. Ezen kérdést körbejárva, a vizuális figyelmi deficit hipotézisének tesztelésére Ziegler és munkatársai (2010) kutatásukban betűk mellett számokat és különböző nem-alfabetikus vizuális szimbólumokat is bemutattak a vizsgálati személyeknek egy kényszerválasztásos helyzetben. Amennyiben a diszlexia hátterében valóban a szűk vizuális figyelmi terjedelem áll, úgy mind a három ingertípus esetében gyengébb teljesítményt várnánk, eredményeik azonban ezt nem igazolták, hiszen a diszlexiás gyermekek csak a betűk és számok esetében mutatnak rosszabb teljesítményt az egyéb vizuális szimbólumok esetében nem (Ziegler, Pech-Georgel, Dufau, & Grainger, 2010).

Megemlítjük, hogy az utóbbi időben kognitív/neurális faktorok feltérképezése mellett egyre több vizsgálatot találunk a diszlexia öröklött faktorainak vizsgálatára melyek a háttérben meghúzódó genetikai tényezőkre fókuszálnak (Galaburda, LoTurco, Ramus, Fitch, & Rosen, 2006).

3.3 A magnocelluláris/dorzális rendszer deficitjét feltételező elméletek

Ahogy a disszertáció középpontjában az alacsony és magas térbeli frekvenciák tárgyfelismerésben betöltött szerepét részleteztük, továbbá az M- és P-pályák iskoláskorban

történő fejlődése, érése áll, így ennek megfelelően diszlexia elméletei közül is a vizuális rendszer, azon belül is a magnocelluláris/dorzális rendszer érintettségét feltételező megközelítéseket tekintjük át.

A fonológiai deficit mellett, mely a nyelvi rendszer fejlettségét, azon belül is a fonológiai tudatosság fejlettségét helyezi előtérbe, szintén elterjedtek azok az elképzelések, melyek a vizuális észlelés deficitjét feltételezik a diszlexia hátterében. Az egyik meghatározó tanulmány szerint a diszlexiások kontrasztérzékenysége alacsony téri, illetve magas idői frekvenciák esetében gyengébb a jól olvasókéhoz képest (Lovegrove, Bowling, Badcock, & Blackwood, 1980). Többek között ezen eredmények, illetve egyes anatómiai vizsgálatok vezettek az ún. magnocelluláris deficit elmélet (Stein, 2001; Stein & Walsh, 1997) megfogalmazásához, mely, mint egy kiterjesztett (univerzális) elmélet úgy gondolja, hogy a vizuális, hallási illetve a cerebelláris (kisagyi) deficit idegrendszeri szinten egyetlen közös okra, mégpedig az M-sejtek abnormalitására vezethető vissza. Vagyis az elmélet szerint a magnocelluláris sejtek deficitje az elsődleges oka a diszlexia kialakulásának. Stein (2001) elméletében úgy gondolja, hogy a sérült M-sejtek, csökkent mozgásérzékenységet, bizonytalan binoklális fixációt, így rossz látási lokalizációt eredményeznek, mely befolyásolja az olvasási teljesítményt. Stein kezdetben csak a vizuális rendszerhez tartozó eltérést, a hallási feldolgozórendszerre is kiterjesztette, illetve az egyes cerebelláris deficit hátterében is az M-sejtek károsodását feltételezte, hiszen úgy tűnik, hogy ezen sejteknek is van bemenete a kisagyba (Csépe, 2006).

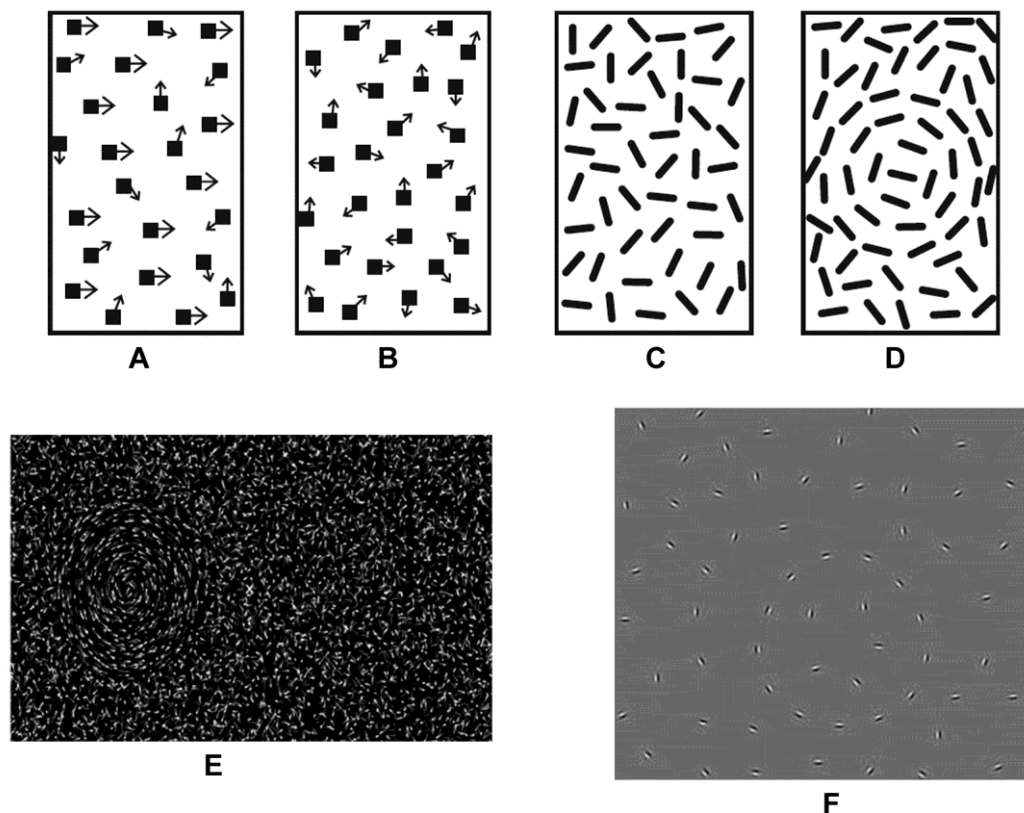
Az elméletet támogatják azon vizsgálatok eredményei melyek az M-sejtek és M-rendszer funkcionális és anatómiai eltéréseire hívják fel a figyelmet. Livingstone és munkatársai (1991) például csak a gyors, alacsony kontrasztú ingerekre (melyekre az M-pálya érzékeny) jelentkező látókérgi kiváltott válaszokban tapasztaltak eltérést a diszlexiás és kontrollcsoport idegi aktivitásának összehasonlításakor. Post-mortem vizsgálataik alapján arra is rámutattak, hogy az oldalsó térdestest (corpus geniculatum laterale - CGL) magnocelluláris sejtjei morfológiailag károsodottak, kisebbek és gyengébbek a diszlexiások esetében, azonban a parvocelluláris sejteknél semmilyen abnormalitást nem tapasztaltak.

Az M-rendszer eltérő működésére agyi képalkotó eljárást alkalmazó vizsgálatokból is származnak eredmények, hiszen fMRI segítségével csökkent neurális aktivitást figyeltek meg a mozgásérzékeny vizuális kérgi területek (V5/MT) esetén, melyről azt feltételezik, hogy főként a magnocelluláris bemenet dominál (Eden et al., 1996). Demb, Boynton és Heeger (1998a) is hasonló eredményekről számoltak be, sőt erős korrelációt figyeltek az fMRI szignál

nagyságának változása, a mozgásérzékenység (sebesség/gyorsaság diszkriminációs küszöb - speed discrimination threshold), és az olvasás szintje, sebessége között.

Demb kutatócsoportja (1998b) ugyanazon évben megjelent pszichofizikai kutatásukban mind a mozgás-, mind a kontrasztérzékenység esetén magasabb küszöböt figyeltek meg a diszlexiás részvevőknél, szignifikáns különbséget azonban csak a sebesség diszkrimináció során tapasztaltak, mely eredményekből a szerzők arra következtettek, hogy (bár mindkettő a magnocelluláris pályához köthető) a mozgásérzékenység sokkal pontosabb előrejelzője lehet a diszlexia kialakulásának, mint a kontrasztérzékenység

A magnocelluláris deficit elmélet tesztelése során, fontos, hogy mintegy kontrollként, a parvocelluláris sejtek/rendszer működésére vonatkozó feladatokat is alkalmazzanak, hiszen csak így vonhatunk le következtetéseket a magnocelluláris rendszer szelektív sérülésére vonatkozóan. A P-csatorna működésének vizsgálatára több tanulmányban is a koherens formaészlelési feladatot alkalmazzák (pl: Hansen et al., 2001), az M-pálya vizsgálatára használt globális mozgás észlelési feladat mellett. A globális, vagy koherens mozgásészlelés vizsgálo feladatok lényege a véletlenszerűen mozgó pontok között átfogó irányú és egységes terjedelmű mozgás látása (például: 8. ábra), a globális (koherens) forma feladatban egy olyan körkörös elrendezett minta észlelési küszöbét mérik, amely véletlen irányú vonalak között egyirányú vonaldarabokból áll (például: 8. ábra) (Hansen et al., 2001; Séra, Révész, Vajda, & Járai, 2010). Hansen és munkatársai (2001) vizsgálatukban két feladat alkalmazásával arra keresték a választ, hogy a kontrollcsoporthoz képest a fejlődési diszlexiásoknál specifikusan csak a dinamikus ingerek esetén figyelhető-e meg károsodás. Eredményeik szerint a diszlexiás személyek csak a mozgáskoherencia-küszöb vizsgálatánál tértek el a kontrollcsoporttól, hiszen Hansen és munkatársai a koherens forma feladatban nem kaptak szignifikáns különbséget. Több másik tanulmány is igazolta, hogy a diszlexiások kevésbé érzékenyek a koherens mozgásra, mint a kontroll személyek (Cornelissen, Richardson, Mason, Fowler, & Stein, 1995; Talcott, Hansen, Assoku, & Stein, 2000; Talcott et al., 1998).



8. ábra: Az ábrán a magnocelluláris és parvocelluláris csatornák vizsgálatára alkalmazott ingerekre látható néhány példa. Az ábra felső részén a Hansen és munkatársai (2001) kutatásában a mozgás- (A, B) és formakoherencia-küszöb (C, D) vizsgálatára szolgáló ingerek. Az alsó sorban a mozgásészlelés vizsgálatára alkalmas Glass-minta (E) (Tsermentseli, O'Brien, & Spencer, 2008), illetve a Gábor-foltokból álló kontúrintegrációs feladat egyik eleme (D) (Kovács, Pennefather, Chandna, & Norcia, 2000 idézi: Séra et al., 2010).

Gori és munkatársai (2016) komplex vizgálatsorozatokban több aspektusból közelítették meg a diszlexia, valamint a magnocelluláris/dorzális rendszer deficitje közötti kapcsolatokat. A mozgásészlelést vizsgálva eredményeik azt mutatták, hogy (1) a diszlexiás gyermekek mozgásészlelése károsodott, az életkor és az olvasási szint alapján illesztett kontrollcsoportéhoz képest egyaránt; (2) óvodások vizsgálata alapján a vizuális észlelés vizsgálatára vonatkozó feladatban nyújtott teljesítménye – a hallási-fonológiai készségektől függetlenül – előrejelzik a későbbi olvasás sikerességét; (3) a célzott magnocelluláris/dorzális tréning – mely nem tartalmaz hallási-fonológiai elemeket – fejlettebb olvasási készségeket eredményez diszlexiás gyermekek és felnőttek esetében is. Ezen eredmények alapján a szerzők úgy gondolják, hogy mivel a magnocelluláris/dorzális rendszer diszfunkcióját sokkal hamarabb diagnosztizálhatjuk, mint az olvasási vagy nyelvi zavarokat, az ilyen irányú korai

prevenció akár csökkentheti a diszlexia kialakulásának az esélyét is (Gori et al, 2016). Ugyancsak a korai magnocelluláris/dorzális funkciók és a későbbi olvasási rendszer közötti kapcsolatot igazolják Kevan és Pammer (2008, 2009) eredményei is.

Az M-pálya károsodását támogatja Lehmkuhle, Garzia, Turner, Hash és Baro (1993) EEG vizsgálatának eredményei is, ahol csak az alacsony térbeli frekvenciák esetén tapasztaltak szignifikáns különbséget a két csoport között, pontosabban diszlexiásoknál az ATF ingerek esetén rövidebb C1 (általuk N1-nek hivatkozott) és P1 latenciát regisztráltak, továbbá az általuk P1-N2 komplexnek nevezett (a P1 és az azt követő negatív komponens közötti különbség) amplitúdó is alacsonyabb volt. A szerzők szerint ezen eredmények lassabb magnocelluláris feldolgozásra utalnak fejlődési diszlexiában. Ezen eredmények összhangban vannak Livingstone és munkatársai (1991) korábban bemutatott vizsgálatának eredményeivel, akik szintén csak az M-pályához köthető ingerek által kiváltott idegi aktivitásában tapasztaltak eltérést. Az eredmények azonban korántsem egyértelműek, hiszen más tanulmányok nem igazolták a diszlexiás és kontrollcsoport közötti különbségeket (Johannes, Kussmaul, Münte, & Mangun, 1996; Victor, Conte, Burton, & Nass, 1993). Sőt Farrag, Khedr és Abel-Naser (2002) egyiptomi diszlexiás és tipikus fejlődésű gyermekek csoportjának elektrofiziológiai korrelátumait vetették össze és eredményeik alapján a parvocelluláris pálya érintettségét feltételezik. Különböző térbeli frekvenciájú és kontrasztú sakktábla mintázatokat alkalmazva vizsgálták a P1 komponens latenciáját és amplitúdóját. A térbeli frekvenciákat illetően hosszabb latenciát figyeltek meg a magas térbeli frekvenciájú ingereknél, de csak a diszlexiás csoport esetében. Összességében a szerzők úgy gondolják, hogy a diszlexia hátterében sokkal inkább a részletek azonosításáért felelős P-pálya elégtelen működése húzódik meg.

Bár az elektrofiziológiai korrelátumokat nem vizsgálták, tovább árnyalják a képet egy magyar kutatócsoport, Séra, Révész, Vajda és Járai (2010) vizsgálatának eredményei, melyben a koherens mozgásészlelés a kontúrintegráció közötti kapcsolatot, illetve az M- és P-csatornák működését vizsgálták 9-12 éves gyengén olvasó és diszlexiás, valamint tipikus fejlődésű gyermekek bevonásával. Eredményeik szerint mindkét feladatban szignifikáns különbség mutatkozik a gyengén olvasó, diszlexiás és kontrollcsoport között, pontosabban a gyengén olvasó és diszlexiás csoport esetében magasabb koherens mozgás, illetve kontúrintegrációs küszöböket figyeltek meg, mely a szerzők szerint magnocelluláris/dorzális, illetve parvocelluláris/ventrális pályák közötti rendellenes kapcsolatra utalnak. Megjegyezzük azonban, hogy a szerzők a diszlexiás csoportra, mint gyengén olvasók és diszlexiások

csoportjára hivatkozik, mely abból adódik, hogy egyes résztvevők intelligenciahányadosa az átlagos övezet alatti tartományban mozog, így a korábban vázolt meghatározás szerint ők nem tekinthetők „valódi” diszlexiásnak, így elképzelhető, hogy a mintaválasztás befolyásolhatta az eredményeket.

A vizuális rendszer érintettségét cáfolják Tsermentseli-ék eredményei, akik nyugalomban lévő, valamint mozgó Glass-mintát bemutatva vizsgálták a forma- és mozgáskoherencia-küszöböt, és érdekes módon egyik kondíció esetén sem találtak szignifikáns különbséget a felnőtt diszlexiás és kontroll résztvevők csoportja között (Tsermentseli et al., 2008).

Sperling és munkatársai kutatásukban diszlexiás gyermekek kontrasztérzékenységét vizsgálták szinuszos rácsmintázatok segítségével, melyeket egyes kondíciókban zajjal fedtek, így tesztelve egy alternatív hipotézist, mely szerint a diszlexiás személyeknek nehézséget jelent a különböző zajok kizárása. Eredményeik szerint a vizsgálatban résztvevő diszlexiások emelkedett kontrasztérzékenységi küszöböt mutattak mindkét kontraszt típus (magno- és parvocelluláris csatornák) esetén a zajos kondícióban, azonban megegyezett a teljesítményük kontrollcsoporttal abban az esetben, amikor az ingereket zaj nélkül mutatták be. Ezen eredmények ugyancsak gyengítik azt az elképzelést, mely szerint a magnocelluláris sejtek abnormalis működése állnak a diszlexia kialakulásának a hátterében (Sperling, Lu, Manis, & Seidenberg, 2005). Mások úgy gondolják, hogy sokkal inkább a vizuális és hallási rendszer általános gyengeségéről van szó, mintsem a magnocelluláris rendszer szelektív sérüléséről (Amitay, Ben-Yehudah, Banai, & Ahissar, 2002).

Ugyancsak - a javarészt magnocelluláris bemenettel rendelkező - dorzális vizuális területek nem megfelelő működésére épül az ún. vizuális-téri figyelem deficit (visuo-spatial attention deficit) megközelítése, mely szerint látórendszerünk olvasás során ugyanazt a mechanizmust használja, mint a vizuális keresési folyamatoknál. A dorzális pálya által vezérelt téri figyelmi folyamatok segítik a betűk gyors szeriális (soros) feldolgozását és bármilyen deficit, amely ezen folyamat során jelentkezik károsíthatja a grafémák vizuális feldolgozását, azok fonémákká történő áttanszformálását, és a fonológiai tudatosság kialakulását (Vidyasagar, 2004; Vidyasagar & Pammer, 2010). Az elméletet támogatják a diszlexiások gyengébb vizuális keresésére (Vidyasagar, & Pammer, 1999) és károsodott vizuális-téri figyelmi funkciókra (Facoetti, Paganoni, Turatto, Marzola, & Mascetti, 2000) vonatkozó vizsgálatok eredményei. Az elmélet szerint nem csak az M-sejteknél jelentkezhet abnormalitás, hanem a dorzális rendszerben bárhol, akár a dorzális, ventrális pályák közötti kapcsolatban is (Vidyasagar, 2004; Vidyasagar, & Pammer, 2010). Érdekes módon Jones,

Branigan és Kelly (2008) diszlexiás felnőttek és a kontrollcsoport között az általuk alkalmazott mozgásészlelés feladatban (Ternus task) nem csak a vizuális keresési folyamatokat igényelő feladatban találtak.

3.4 Összefoglalás

A fejezetben igyekeztünk felhívni a figyelmet a diszlexia komplexitására, melyet mi sem szemléltet jobban, mint a témában található eredmények sokszínűsége, illetve a folyamatot leírni kívánó elméletek nagy száma. A fent bemutatott elméletek mellett és ellen is szólnak bizonyítékok, ahogyan azt már korábban is említettük, nincs egy mindenki által elfogadott elmélet, definíció. Az eredmények sokszínűsége számos tényezőtől függhet, hiszen a vizsgálatokban alkalmazott feladatok nagy változatosságot mutatnak, a résztvevők számában jelentős eltérések tapasztalhatók, továbbá egyes vizsgálatokban a kontrollcsoport illesztése életkor szerint, míg másokban olvasási teljesítmény szerint történik. Nem mehetünk el amellett sem, hogy az egyes vizsgálatokban gyermekek, míg másokban felnőtt résztvevők szerepelnek, hiszen Shaywitz és munkatársai (2003) vizsgálatai alapján úgy tűnik, hogy a diszlexia felnőttkori megnyilvánulásai eltérőek lehetnek, a különböző kompenzációs forrásoktól és hatásoktól függően.

Bár röviden kitértünk a diszlexia kialakulására vonatkozó leginkább elterjedt és népszerű elméletekre, a fejezetben főként a vizuális rendszer azon belül is a magnocelluláris/dorzális rendszer deficitjét feltételező megközelítésekre fókuszálunk, kitérve természetesen azon eredményekre is melyek esetlegesen megcáfolják ezen területek érintettségét. Fontos észrevennünk, hogy a diszlexia összetett jelenség, így a kialakulásához vezető mechanizmusok is összetettek, ennek megfelelően általában igaz az egyfaktoros modellekre, hogy nem tudják megragadni és magyarázni a diszlexia összes jellemzőjét, tünetét. Másrészt magnocelluláris/dorzális rendszer szelektív sérüléséről más fejlődési zavarok esetében is beszámoltak, mint például autizmus spektrumzavar (Deruelle et al, 2004; Sutherland & Crewther, 2010), vagy a Williams-szindróma (Atkinson et al, 1997), így semmiképp sem tekinthető diszlexia-specifikusnak, mely tovább gyengíti a magnocelluláris deficit elméletét (Goswami, 2015). A magnocelluláris deficit elméletét számos kritika érte, főként azért, mert a diszlexiát kísérő különféle tünetet és agyi eltérést egyetlen szerkezeti típusú eltéréssel magyaráz (Csépe, 2006). Mindezek ellenére, nem mehetünk el azon vizsgálatok eredményei mellett, melyek a magnocelluláris/dorzális rendszer gyengébb működéséről számoltak be

fejlődési diszlexiában (Demb et al., 1998a,1998b; Eden et al., 1996; Gori et al., 2016; Hansen et al., 2001; Livingstone et al., 1991; Lehmkuhle et al., 1993; Talcott et al., 1998). Sokkal inkább úgy tűnik, hogy azon elméletek lehetnek a megfelelőek, melyek a diszlexia többkomponensű természete mellett érvelnek (Menghini et al., 2010).

4 A VIZSGÁLATSOROZAT FELÉPÍTÉSE, CÉLJAI

Az áttekintett elméleti alapok és kutatási eredmények alapján több kutatási kérdést is megfogalmaztunk, melyeket egy viselkedéses pilot és három elektrofiziológiai vizsgálatban ellenőrzünk. A vizsgálatssorozat célja annak vizsgálata, hogy természetes, komplex képek kategorizációja során az alacsony és magas térbeli frekvenciák szűrése, hogyan befolyásolja a viselkedéses adatokat, illetve az idegi aktivitást felnőttkorban, 7-15 éves kor között, illetve iskoláskorú fejlődési diszlexiások csoportjában..

4.1 Pilot viselkedéses vizsgálat

Pilot vizsgálatunk célja az iskoláskorú gyermekek kategorizációs folyamatainak feltérképezése volt a magno- és parvocelluláris csatornák fejlődése szempontjából, a viselkedéses adatok (pontosság és reakcióidő) elemzésén keresztül. Pilot kutatásunkban 7-15 éves tipikus fejlődésű gyermekeket (7-8, 9-10 és 13-15 éves gyermekek) és felnőtteket kértünk fel állat-jármű kategorizációs feladat végzésére, eredeti, illetve alacsony és magas térbeli frekvenciájú módosított komplex képek alkalmazásával. Ahogyan azt a 2.3 fejezetben is bemutattuk az M- és P-csatornák életkori változásaira vonatkozóan, főleg olyan vizsgálatokat találunk, melyek mesterséges ingereket alkalmaznak (pl.: szinuszos rácsmintázatok, vagy sakktáblamintázatok) így elektrofiziológiai vizsgálataink előtt mindenképp fontosnak tartottuk az általunk használni kívánt kísérleti elrendezés, ingerek, szűrőbeállítások tesztelését, elővizsgálatát, az ingerek bemutatási idejének meghatározását.

4.2 Elektrofiziológiai vizsgálatssorozat

4.2.1 Első vizsgálat

Az első, felnőttek bevonásával végzett EEG vizsgálatunk fő célja annak vizsgálata, hogy egy fölérendelt szintű vizuális állat-jármű kategorizációs feladatban, az alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú módosított képtípusok a pontosság és reakcióidő adatok mellett hogyan befolyásolják a mögöttes neurális aktivitást az okcipitális, frontocentrális, illetve a parietális áréak felett. A tárgyfelismerést hagyományosan az okcipitális területekkel hozzák összefüggésbe, így a legtöbb vizsgálat is ezen területek működésének feltérképezésére irányul. Az legújabb elméletek azonban egyre inkább arra hívják fel a figyelmet, hogy a frontális területek szintén aktív szerepet játszanak a körülöttünk lévő vizuális ingerek

felismerésében, azonosításában (Bar, 2003, 2004; Bar et al., 2006; Freedman, Riesenhuber, Poggio, & Miller, 2001). Ennek megfelelően vizsgálatunk másik célja az alacsony és magas térbeli frekvenciák top-down folyamatokban betöltött szerepének vizsgálata. Vizsgálatsorozatunk fontos alapját képezi Bar (2003, 2004) modellje, melyben egy térbeli frekvencia alapú, az ingerek durva, globális elemzésétől a finomabb, lokális információ felé haladó feldolgozást javasol, különös hangsúlyt fektetve a prefrontális kéregből visszaható ún. top-down hatásokra. Elmélete szerint a céltárgy azonosításában nem csak a részletazonosításért felelős, lassabb ventrális/parvocelluláris rendszer játszik fontos szerepet, hanem a gyorsabb, de kevésbé finomabb magnocelluláris csatorna is, mely a kontextuális információk elemzésével aktiválja a lehetséges tárgyrepresentációkat, így segítve a céltárgy „top-down” jellegű gyors és hatékony felismerését/kategorizációját. Fontos hangsúlyozni, hogy az általunk alkalmazott képeknek köszönhetően ezen hatások is vizsgálhatóvá váltak. Annak ellenére, hogy Bar (2003, 2004) elméletében hangsúlyozza az ATF és MTF információ tárgyfelismerésben betöltött szerepét, illetve több kutatást találunk a térbeli frekvenciák ERP-re (főként korai komponensek: C1, P1, N1) gyakorolt hatására vonatkozóan, a szakirodalomban nem találunk olyan elektrofiziológiai vizsgálatot, amelynek sikerült volna a kettőt összekapcsolni, illetve az elméletet alátámasztani, vagy megcáfolni. Kutatásunkban Bar (2003, 2004) elméletét szem előtt tartva igyekszünk megragadni a folyamat komplexitását, és az egész agyra kiterjedő aktivitásmintázatok vizsgálatával, továbbá annak időbeli változásainak követésével, nem csak az okcipitális területek, hanem a frontális és parietális területek felett is.

4.2.2 Második vizsgálat

Elektrofiziológiai vizsgálatsorozatunk második kutatásának célja annak feltárása, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák szűrése, hogyan befolyásolja a viselkedéses adatokat, illetve az idegi aktivitást 7-15 éves kor között természetes, komplex képek kategorizációja során. Több tanulmány is igazolta az M- és P- pályák életkorral összefüggő változását kisgyermekkor után is. A viselkedéses változók, vagyis a pontosság, illetve a reakcióidő változásaira irányuló vizsgálatok eredményei a magnocelluláris pálya elhúzódó éréseire mutatnak rá (Adams & Courage, 2002; Barnard et al., 1998; Benedek et al., 2010). A szakirodalomban csak nagyon kevés olyan vizsgálatot találunk, mely a folyamat elektrofiziológiai korrelárumaira koncentrálna, sőt esetenként ellentmondásokba is ütközünk, hiszen például van den Boomen és munkatársai (2015) az előzőekkel ellentétben az MTF

feldolgozás kései fejlődésére hívják fel a figyelmet. Fontos megjegyeznünk, hogy a korábbi vizsgálatok mesterséges ingereket alkalmaznak, így nem ismert, hogy iskoláskor alatt hogyan módosulnak az alacsony és magas térbeli frekvenciákra érzékeny vizuális eseményfüggő potenciálok, akkor, amikor a személyek olyan komplex képeket kategorizálnak, amelyeken az célinger természetes környezetében szerepel. Batty és Taylor (2002) eredményei alapján láthattuk, hogy bár egy nagyon alapvető funkcióról van szó, eredeti képek kategorizációja során iskoláskorban is megfigyelhetők életkori hatások. Vizsgálatunkban kíváncsiak voltunk, hogy ezen hatások vajon hogyan módosulnak az alacsony és magas térbeli frekvenciák szűrésével. Jelen vizsgálatban a pontosság és reakcióidő, valamint a hátulsó területek felett jelentkező vizuális P1 és N1 komponensek amplitúdójának és latenciájának modulációit elemeztük. A viselkedéses pilot vizsgálatunkkal szemben, a vizsgálat sorozat jelen szakaszában három helyett négy gyermekcsoport szerepelt, így sokkal inkább le tudtunk fedni az általunk vizsgálni kívánt életkori sávot. Vizsgálatunk tehát hiánypótló, hiszen az általunk alkalmazott természetes képek segítségével, továbbá az EEG módszerének köszönhetően az eddiginél komplexebb képet kaphatunk a folyamat neurális hátterére, a két csatorna vizuális feldolgozásban betöltött szerepére vonatkozóan az 7 és 15 éves kor között.

4.2.3 Harmadik vizsgálat

A 3. fejezetben igyekeztünk felhívni a figyelmet a fejlődési diszlexia komplexitására, illetve hangsúlyoztuk, hogy bár az iskoláskorú gyermekek viszonylag nagy százalékát érinti, továbbra sem tisztázott, hogy mi állhat kialakulásának a hátterében. Számos eredmény igazolta a vizuális rendszer, azon belül is magnocelluáris/dorzális rendszer érintettségét fejlődési diszlexiában (Demb et al., 1998a; Demb et al., 1998b; Eden et al., 1996; Gori et al., 2016; Hansen et al., 2001; Livingstone et al., 1991), melynek vizsgálatára mesterséges, többnyire dinamikus ingereket használtak. Az eredmények azonban korántsem egyértelműek, hiszen olyan vizsgálatokat is olvashatunk, melyek cáfolják az M-rendszer szelektív sérülését (Amitay et al., 2002; Séra et al., 2010; Sperling et al., 2005; Tsermentseli et al., 2008). Vizsgálatunkban mi is a vizuális feldolgozásban esetlegesen megjelenő deficitet feltérképezésére teszünk kísérletet, hiszen az általunk alkalmazott komplex módosított képek segítségével választ kaphatunk arra a kérdésre, hogy vajon valóban a magnocelluláris sejtek szelektív sérülése jellemzi a diszlexiásokat, vagy sokkal inkább egy általános, mindkét pályát érintő deficitről van szó. Arra keressük a választ, hogy eredeti, ATF és MTF módosított, komplex képek kategorizációja során vajon van-e különbség a fejlődési diszlexiás és tipikus

fejlődésű gyermekek között a pontosság és reakcióidő, valamint az okcipitális területek felett jelentkező korai vizuális komponensek (P1 és N1) tekintetében. Amennyiben a magnocelluláris sejtek/csatorna szelektív sérülése valóban jellemzi a diszlexiások csoportját, úgy az a viselkedéses változók és/vagy az idegi aktivitás elemzésekor is tetten érhető. Tudomásunk szerint – az előzőekhez hasonlóan a diszlexia magnocelluláris deficitjére vonatkozó vizsgálatokban sem alkalmaztak még az általunk használt ingerekhez hasonlóakat, így vizsgálatunk mindenképp érdekes és hiánypótló eredményeket hozhat.

Mivel a pilot vizsgálatunkban használt ingerek és kísérleti elrendezés esetenként eltért a fő vizsgálatokban alkalmazottaktól, ezért az elektrofiziológiai vizsgálatok módszereit külön fejezetben tárgyaljuk.

5 A VIZUÁLIS KATEGORIZÁCIÓS FOLYAMATOK VISELKEDÉSES VIZSGÁLATA A MAGNO- ÉS PARVOCELLULÁRIS KÉREGALATTI LÁTÓPÁLYÁK FEJLŐDÉSÉNEK TÜKRÉBEN

PILOT VIZSGÁLAT

5.1 A pilot vizsgálat célkitűzései és hipotézisei

Pilot vizsgálatunk célja a 7-15 éves gyermekek viselkedéses adatainak (reakcióidő és pontosság) összehasonlítása egy fölérendelt, állat-jármű kategorizációs feladat végzése során. Hipotéziseink szerint a vizuális kategorizáció fejlődése még iskoláskorban is folytatódik, így a gyermekek teljesítménye korcsoporttól függő módon elmarad a felnőttekétől. A kutatás során további célunk volt az M- és P-csatornák érésének és a kategorizációs folyamatok összefüggéseinek feltérképezése is. A 2.3 fejezetből látható, hogy az M- és P-csatornák fejlődését számos módszerrel vizsgálták, mégsem tisztázott, hogy a két pálya eltérő dinamikájú érese vajon hogyan befolyásolja a vizuális kategorizációs folyamatokat? A korábbi vizsgálatokkal ellentétben kutatásunkban komplex képek alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú változatainak bemutatásával talán közelebb kerülhetünk ezen kérdések megválaszolásához. Feltételezésünk szerint, bár mind a két pálya esetében fejlődés figyelhető meg a vizsgált életkorban, a magnocelluláris pálya markánsabb érésével kell számolnunk, ami gyermekkorban, elsősorban a kisiskolások esetében a csak alacsony térbeli frekvenciákat tartalmazó ingerek gyengébb kategorizációs teljesítményével jár. Jelen vizsgálat eredményeit az Iskolakultúra szakmai folyóirat 2013/10. számában ismertettük, az eredményeink egységes bemutatása érdekében a statisztikai elemzéseket részben módosítottuk, melyeket a *Statisztikai eljárás* című fejezetben pontosítunk.

5.2 Módszerek

5.2.1 A pilot vizsgálat mintája

A vizsgálatban 90 személyt kértünk fel állat-jármű kategorizációs feladat végzésére. A résztvevők között tipikus fejlődésű 7-8, 9-10 és 13-15 éves gyermekek, illetve fiatal felnőttek

szerepeltek. A teljes mintában, továbbá az egyes korcsoportok esetében egyaránt törekedtünk a nemek arányának kiegyenlítésére (42 fiú, 48 lány). A vizsgálat megkezdése előtt rákérdeztünk a résztvevők látásélességére, ami minden esetben szükség szerint korrigálva volt. A résztvevők egyike sem szenvedett semmilyen fejlődési, pszichiátriai, neurológiai rendellenességben, vagy tanulási zavarban.

Az adatfelvételek előtt az intézmény vezetőjének, a gyermekek szüleinek, valamint a felnőttek esetében a vizsgálati személynek a hozzájárulását kértük. A kutatásról történő részletes tájékoztatást mind a személyek, mind a szülők megkapták. A vizsgálatok elvégzése során a Magyar Pszichológiai Társaság által előírt etikai szabályokat követtük, továbbá betartottuk a Szegedi Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kar Pszichológiai Intézetének etikai kódexét. A vizsgálatban való részvétel önkéntes volt, személyek semmiféle fizetségben vagy jutalomban nem részesültek. A résztvevők számát, az egyes korcsoportok életkori átlagát és szórásait, valamint a nemek arányát a 1. táblázatban tartalmazza.

1. táblázat: A táblázat az elemszámot, az életkori átlagokat (és szórásokat), valamint a nemek arányát mutatja az egyes életkori övezetekben.

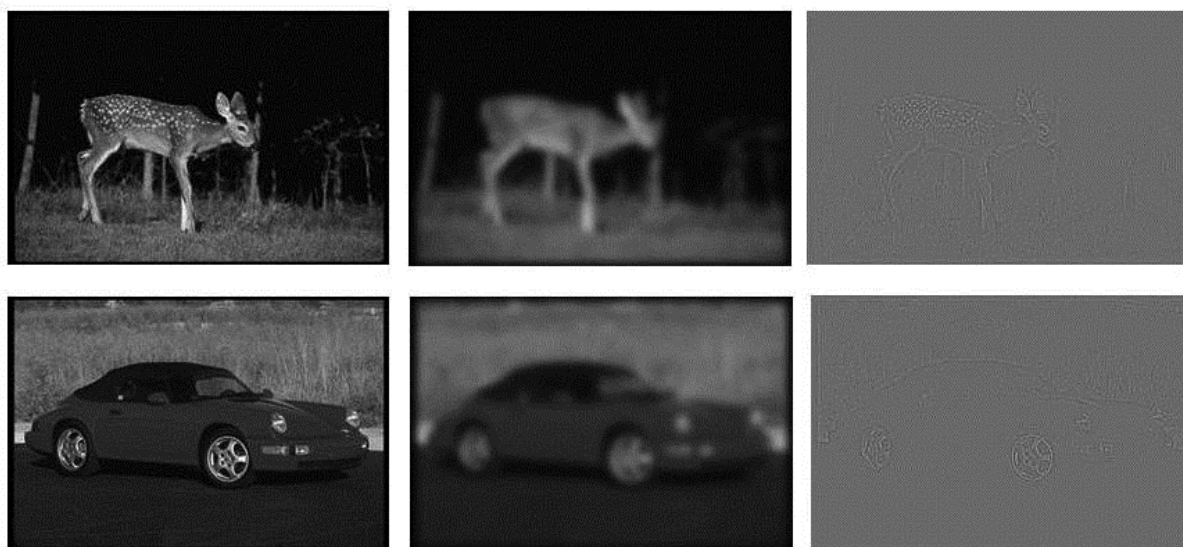
Életkor	Elemszám	Életkor átlaga (szórás)	Nemek aránya
7-8	23	7,68 (0,48)	12 lány/11 fiú
9-10	20	9,45 (0,51)	10 lány/10 fiú
13-15	25	13,92 (0,86)	14 lány/11 fiú
Felnőttek	22	25,09 (3,8)	12 lány /10 fiú

5.2.2 Ingerek és kísérleti elrendezés

A vizsgálat során az állatokat és járműveket ábrázoló szürkeárnyaltos eredeti képek mellett, azok alacsony és magas térbeli frekvenciájú változatai is bemutatásra kerültek. Az eredeti képeket a Li, VanRullen, Koch és Perona (2002) által alkalmazott, az interneten is elérhető adatbázisból (<http://vision.stanford.edu/Datasets/AnimTransDistr.rar>) válogattuk össze. Törekedtünk arra, hogy a két kategóriában szereplő képek minél nagyobb változatossággal legyenek összeválogatva, így az állat kategóriában emlősök, madarak, rovarok és hüllők szerepeltek, míg a jármű kategóriában autókat, vonatokat, polgári és katonai repülőgépeket, illetve hajókat ábrázoló képek voltak láthatók. A képek felbontása 255 pixel/inch, méretük pedig 576×384 pixel volt.

Az eredetileg színes képek szürkeárnyalatossá alakításához, illetve alacsony és magas térbeli frekvenciájú képek előállításához az Adobe Photoshop CS5 szoftver (Adobe Systems Inc., San Jose, USA) alkalmaztuk. Az alacsony térbeli frekvenciájú képek esetében a Gaussian blur szűrőt (szűrő paraméter: 6,1), a magas térbeli frekvenciájú képeknél pedig az Adobe photoshop felüláteresztő szűrőjét (szűrő paraméter: 0,5) használtuk. E két szűrési eljárás elterjedt módja a kognitív idegtudományban a különböző térbeli frekvenciájú képek előállításának (például: Bar et al., 2006). Az ATF és MTF képek előállítása során törekedtünk arra, hogy a módosított ingerek azonos mértékben legyenek felismerhetőek, annak érdekében, hogy a két pálya fejlődését pontosabban összevethessük. Ahogyan azt korábban már részleteztünk a kategorizáció vizsgálatával foglalkozó kutatásokban általában környezetükből kiragadott, leegyszerűsített (pl. fekete-fehér rajzok) ingereket alkalmaznak így hiányoznak azok a vizuális vonások, melyek természetes környezetet jellemzik. Ezzel ellentétben, vizsgálatunkban olyan képeket mutattunk be, amelyeken az állatok, illetve a járművek természetes vizuális környezetükben szerepeltek.

A 3 féle kondícióban (eredeti, ATF és MTF képek) állat-jármű kategóriánként 60-60, azaz összesen 360 képet mutattunk be, random sorrendben. Annak érdekében, hogy elkerüljük az esetleges gyakorlási hatást a személyek minden képet csak egyszer láttak (csak egy kondícióban). A vizsgálatban alkalmazott ingerekre az 9. ábrán látható példa.



9. ábra: Az ábrán a pilot vizsgálatban használt eredeti (bal oszlop), alacsony (középső oszlop) illetve magas (jobb oszlop) térbeli frekvenciájú képekre látható példa állat (felső sor) és jármű (alsó sor) kategóriában.

Az adatfelvétel egy elsötétített szobában zajlott, ahol csak a vizsgálati személy és a vizsgálatvezető tartózkodott. Az adatfelvétel egy hordozható számítógéppel, illetve egy speciálisan erre a célra preparált billentyűzettel történt, amelyen csak a két válaszgomb a „C” illetve az „M” billentyűk szerepeltek. Annak érdekében, hogy az oldaliság ne befolyásolja a kapott eredményeket a résztvevők fele a „C” billentyűt, a másik fele pedig az „M” billentyűt nyomta meg „állat” válasz esetén. Az adatfelvételnél a résztvevők először a képernyőn megjelenő instrukciót látták, és mivel a mintában olvasni még nem tudó gyermekek is szerepeltek, az szóban is elhangzott. Annak érdekében, hogy biztosak legyünk abban, hogy minden személy megértette a feladatot az adatfelvétel gyakorlással kezdődött, az itt bemutatott képek azonban a későbbiekben már nem szerepeltek. A személyek egy gombnyomással indították a feladatot. A képernyőn elsőként 1000 ms-ig egy fixációs pont, majd ezt követően a három képtípus valamelyikéből egy kép jelent meg, amely a válaszgombok egyikének lenyomásáig volt látható. A program a következő képet az egyik válaszgomb lenyomását követően 1000 ms elteltével jelenítette meg. Hangsúlyoztuk, hogy próbálják meg minél gyorsabban megnyomni a megfelelő gombot. Az adatfelvétel három blokkban történt és megközelítőleg 20 percig tartott.

5.2.3 Statisztikai eljárás

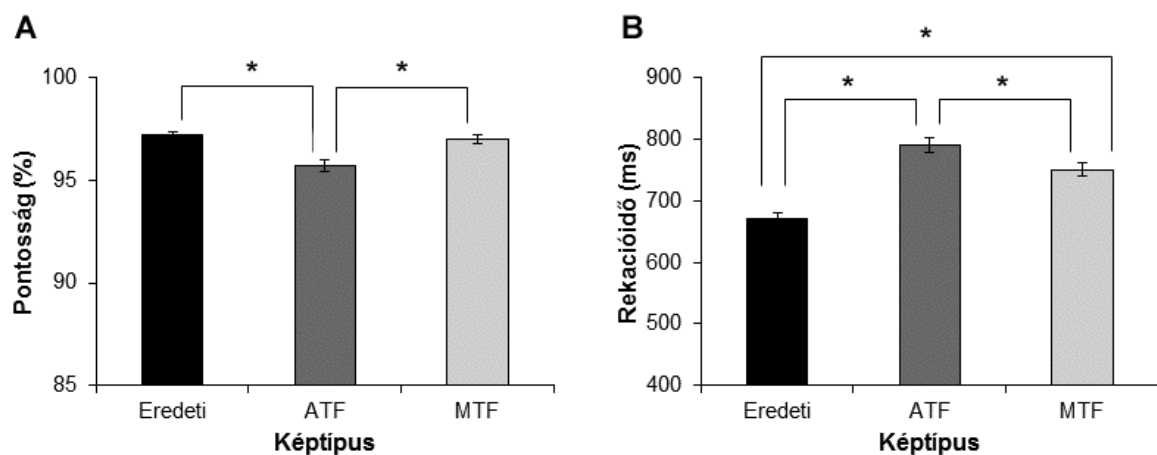
Az adatok elemzése az SPSS statisztikai programmal (SPSS Inc., Chicago, USA) történt. Az vizsgálat során arra voltunk kíváncsiak, hogy a pontosság és a reakcióidő hogyan változik az életkor (KORCSOPORT: 7-8, 9-10 és 13-15 gyermekek, felnőttek), a KÉPTÍPUS (eredeti, ATF és MTF képek), illetve ezek interakciójának függvényében. A reakcióidőt mediánokban számoltuk ki, a pontosságot pedig a helyes válaszok aránya adja. Az elemzés során ismételt méréses varianciaanalízist (ANOVA) futtattunk le, ahol a KÉPTÍPUS összetartozó mintás (within-subject) változó, a KORCSOPORT pedig nem összetartozó mintás (between-subject) változóként szerepelt. Az Iskolakultúra 2013/10. számában jelen pilot vizsgálatot ismertető kutatásunkban a páronkénti összevetések vizsgálatára kontrasztanalízis végeztünk, pontosabban az életkor hatásának vizsgálatakor ismételt kontrasztanalízist (repeated contrast analysis), mely során a szomszédos korcsoportokat hasonlítottuk össze egymással (7-8 éves vs. 9-10 évesek; 9-10 évesek vs. 13-15 évesek; 13-15 évesek vs. felnőttek), az eredeti, ATF és MTF képekre jelentkező pontosság és RT adatok páronkénti összehasonlítására pedig

egyszerű kontrasztanalízist (simple contrast analysis), mely során az egyes módosított ingertípusokat az eredetivel vetettük össze (eredeti vs. MTF; eredeti vs. ATF). A disszertációban bemutatott eredmények egységes elemzése, értelmezhetősége és bemutatása érdekében a különböző kontrasztanalízisek helyett a páronkénti összevetések esetében Bonferroni post hoc tesztet alkalmaztunk. Amennyiben a KÉPTÍPUS és KORCSOPORT interakciója szignifikánsnak bizonyult, további ANOVA-kat végeztünk el. A térbeli frekvenciák módosító hatására vonatkozóan korcsoportonként külön, további ismételt mérések varianciaanalíziseket futtattunk le a KÉPTÍPUSSAL, mint összetartozó mintás változóval. Annak vizsgálatára, hogy külön az egyes alkalmazott képtípusok esetében hogyan alakulnak az életkori változások további három egyszempontos varianciaanalízist futtattunk le az eredeti, ATF, és MTF ingerekre az életkori övezetek alapján. Az adatok elemzése során $p < 0,05$ szignifikanciaszintet alkalmaztunk. Szükség esetén Greenhouse-Geisser korrigált p értékeket, valamint megfelelő epszilon korrekciót is feltüntettük. A jelentkező hatások nagyságának demonstrálására a parciális éta négyzet (η^2) értékek is szerepelnek.

5.3 Eredmények

5.3.1 A képtípus hatása a pontosságra és a reakcióidőre

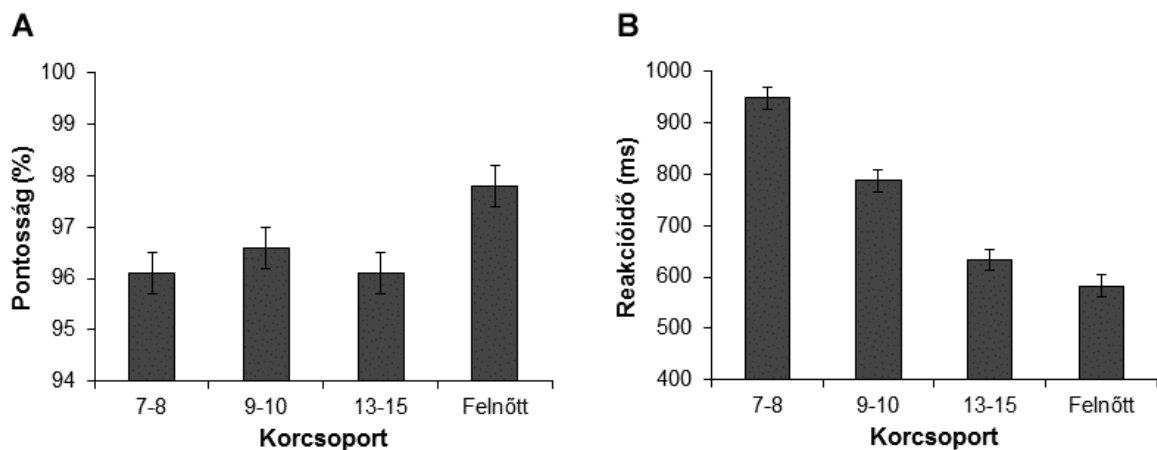
A pontosság adatok elemzése során szignifikáns KÉPTÍPUS főhatást [$F(1,643, 141,29) = 17,185$, $\varepsilon = 0,821$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,167$] tapasztaltunk, mely hatás főként abból adódik, hogy a résztvevők az alacsony térbeli frekvenciájú képek esetében szignifikánsan pontatlanabbak voltak az eredeti és magas térbeli frekvenciájú ingertípushoz képest (mindkét összevetés esetében $p < 0,001$), melyek azonban nem térnek el egymástól (10. ábra). A reakcióidő vizsgálatoknál a KÉPTÍPUS főhatás szintén szignifikánsnak bizonyult [$F(1,746, 150,146) = 229,002$, $\varepsilon = 0,873$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,727$]. A Bonferroni post hoc elemzések eredményei alapján az általunk alkalmazott három képtípus szignifikánsan különbözik egymástól ($p < 0,001$), pontosabban a legrövidebb reakcióidőt az eredeti képekre figyeltünk meg, a leghosszabb válaszadási idő pedig a csak alacsony térbeli frekvenciákat tartalmazó képek bemutatásakor jelentkezett (10. ábra).



10. ábra: Az ábra a három képtípus esetében mért pontosság (A) és reakcióidő (B) adatok átlagait és szórásait mutatja. A csillagok a Bonferroni post hoc páronkénti összevetések szignifikáns különbségeit jelölik.

5.3.2 Az életkor hatása a pontosságra és a reakcióidőre

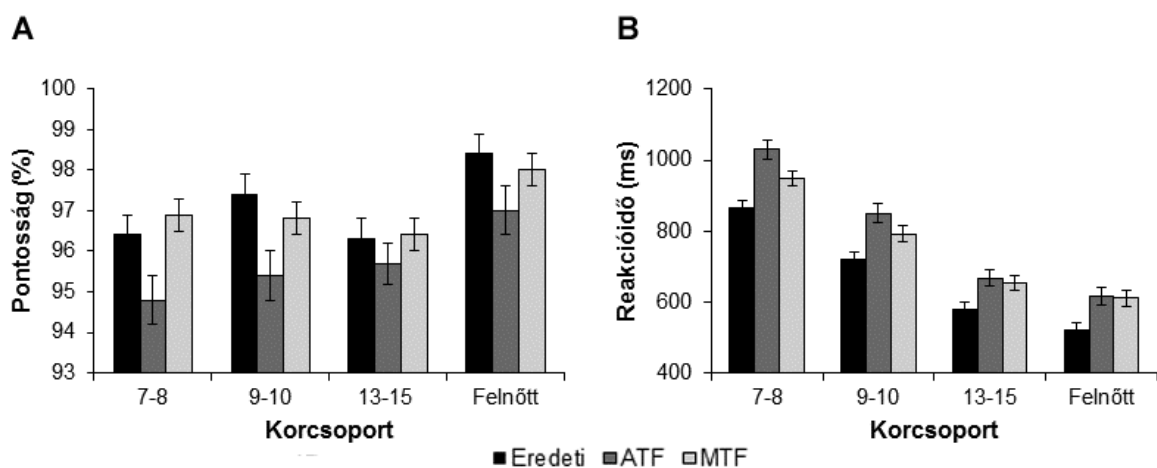
Az általunk alkalmazott elemzések a pontosság esetében szignifikáns KORCSOPORT főhatást [$F(3, 86) = 4,91$, $p = 0,003$, $\eta^2 = 0,146$] igazoltak. A páronkénti összevetések rámutattak arra, hogy a vizsgálatban szereplő gyermekcsoportok teljesítménye nem tér el egymástól, továbbá elmondható, hogy a felnőttek csak a 7-8 ($p = 0,007$), valamint a 13-15 éves gyermekektől ($p = 0,008$) különböznek szignifikánsan (11. ábra). A reakcióidő vizsgálatok a pontossághoz hasonlóan a KORCSOPORT főhatás [$F(3, 86) = 60,822$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,68$] szignifikánsnak mutatkozott. A Bonferroni post hoc elemzések során egyedül a 13-15 éves gyermekek és felnőttek összehasonlításakor nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést (minden összevetés esetében a $p < 0,001$), mely eredmények alapján úgy tűnik, hogy az életkor előrehaladtával egyre csökken a reakcióidő és a 13-15 éves csoport eléri a felnőttekre jellemző reakcióidőt. A csoportonként regisztrált reakcióidő adatok a 11. ábrán láthatók.



11. ábra: Az ábrán a vizsgálatban szereplő négy korcsoport esetében jelentkező pontosság (A) és reakcióidő (B) adatok átlaga és szórása látható.

5.3.3 Az életkor és a képtípus interakciójának hatása a pontosságra és a reakcióidőre

Mivel szignifikáns KÉPTÍPUS \times KORCSOPORT interakció csak a reakcióidő [$F(5,238, 150,146) = 6,685$, $\varepsilon = 0,873$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,189$] esetében volt megfigyelhető (12. ábra), ezért a pontosság adatokat (12. ábra) a továbbiakban nem elemeztük



12. ábra: Az ábrán a vizsgálatban szereplő négy korcsoport pontosság (A) és reakcióidő (B) adatainak átlaga és szórása láthatók az eredeti, alacsony illetve magas térbeli frekvenciájú képtípusok esetén. A csillag a páros t -próbák által kapott szignifikáns különbséget jelöli.

A válaszadási latencia esetében történt utólagos elemzések, vagyis a korcsoportonként elvégzett ismételt mérés varianciaanalízis minden csoport esetében szignifikáns KÉPTÍPUS

főhatást igazolt (7-8 évesek: $F(2,44) = 75,71$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,775$; 9-10 évesek: $F(1,435, 27,26) = 36,668$, $\varepsilon = 0,717$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,659$; 13-15 évesek: $F(2, 48) = 67,905$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,739$; felnőttek: $F(2, 42) = 85,995$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,804$). Az egyes korcsoportok esetében a képtípusok páronkénti összehasonlítása alapján az eredeti képekre jelentkező RT az általunk vizsgált összes életkorban rövidebb a két módosított képtípushoz képest, az ATF és MTF képek azonban csak a 7-8 és a 9-10 éves gyermekek esetében különböznek egymástól, a serdülők (13-15 éves korcsoport) és a felnőttek ugyanolyan gyorsan azonosítják ezen stimulusokat. A 7-8 és a 9-10 éves korcsoportok esetében az alacsony térbeli frekvenciájú képekre szignifikánsan hosszabb reakcióidő figyelhető meg (12. ábra, 2. táblázat).

2. táblázat: A táblázat a Bonferroni post hoc elemzések eredményeit mutatja a résztvevők négy korcsoportjában a viselkedéses adatok esetében.

		Viselkedéses adatok	
		Pontosság	RT
7-8	Eredeti vs. ATF	-	< 0,001
	Eredeti vs. MTF	-	< 0,001
	ATF vs. MTF	-	< 0,001
9-10	Eredeti vs. ATF	-	< 0,001
	Eredeti vs. MTF	-	< 0,001
	ATF vs. MTF	-	0,007
13-15	Eredeti vs. ATF	-	< 0,001
	Eredeti vs. MTF	-	< 0,001
	ATF vs. MTF	-	n.s.
Felnőttek	Eredeti vs. ATF	-	< 0,001
	Eredeti vs. MTF	-	< 0,001
	ATF vs. MTF	-	n.s.

Mindhárom képtípus esetében életkori hatásokat figyeltünk meg [eredeti: $F(3, 86) = 62,935$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,687$; ATF: $F(3, 86) = 55,482$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,659$; MTF: $F(3, 86) = 51,515$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,642$), a Bonferroni post hoc elemzések alapján hasonló mintázattal a háttérben. Mindhárom ingertípusnál az egyes korcsoportok páronkénti

összevetése szerint csak a serdülők és felnőttek csoportja között nem tapasztalható szignifikáns eltérés (3. táblázat).

3. táblázat: A táblázat a reakcióidő adatok elemzése során a Bonferroni páronkénti összehasonlítás eredményeit mutatja a három képtípus esetében.

		Reakcióidő		
		Eredeti	ATF	MTF
7-8 vs.	9-10	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	13-15	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Felnőttek	< 0,001	< 0,001	< 0,001
9-10 vs.	13-15	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Felnőttek	< 0,001	< 0,001	< 0,001
13-15 vs.	Felnőttek	n.s.	n.s.	n.s.

5.4 A pilot vizsgálat eredményeinek megvitatása

Pilot vizsgálatunk célja az iskoláskorú gyermekek és fiatal felnőttek kategorizációs folyamatainak feltérképezése volt a magno- és parvocelluláris látópályák fejlődésének szempontjából, a viselkedéses adatok elemzésén keresztül. Fontos volt továbbá, a későbbiekben az elektrofiziológiai vizsgálatban használni kívánt kísérleti elrendezés, ingerek, szűrőbeállítások tesztelése, elővizsgálata, az ingerek bemutatási idejének meghatározása. Jelen vizsgálatban 7-15 éves egészséges gyermekeket (7-8, 9-10 és 13-15 éves gyermekek) és felnőtteket kértünk fel állat-jármű kategorizációs feladat végzésére. A háttérben zajló érési folyamatok feltérképezése érdekében az állatokat és járműveket ábrázoló eredeti komplex képek mellett, azok alacsony és magas térbeli frekvenciájú változatai is bemutatásra kerültek, mely módosított képtípusok az M- és P-csatornák vizsgálatára alkalmasak. Hipotézisünk szerint az M-pálya tekintetében fokozottabb fejlődés figyelhető meg a vizsgált életkorban, vagyis erőteljesebben javul a kategorizációs teljesítmény a kizárólag alacsony térbeli frekvenciákat tartalmazó ingerek esetében.

Eredményeink szerint mindkét viselkedéses változó (pontosság és reakcióidő) esetében megfigyelhető életkori hatás (11. ábra), mely a kategorizációs folyamatok fejlődésére utalhat. A felnőttek (97,8%) szignifikánsan pontosabban azonosították az állatokat, illetve járműveket, azonban fontos kiemelni, hogy a legkisebb csoport, a 7-8 éves gyermekek is, 96,1%-ban

nyomták meg a meg megfelelő válaszgombot. A reakcióidő esetében az életkor előrehaladtával egy csökkenés figyelhető meg egészen 13-15 éves korig, amikor is a gyermekek elérik a felnőttekre jellemző válaszadási latenciát. Fontos azonban hangsúlyoznunk, hogy a viselkedéses mutatókat, vagyis a pontosságot és a reakcióidőt együtt elemezve úgy tűnik, hogy 13-15 éves korban is történik fejlődés, hiszen bár ezen korcsoport esetében a reakcióidő nem különbözik a felnőttekétől, a gyermekek szignifikánsan pontatlanabban teljesítenek ebben az életkorban. Ezen eredmények arra utalhatnak, hogy a vizuális kategorizációs folyamatok fejlődése még iskoláskorban, a 13-15 éves korcsoport esetében is folytatódik. Batty és Taylor (2002) a viselkedéses mutatók tekintetében nagyon hasonló eredményekről számoltak be, noha a vizsgálatukban résztvevő személyek egy ún. go/no go feladatot végeztek.

Bár ezen eredmények a kategorizációs folyamatok serdülőkorban is tartó fejlődésére engednek következtetni, a reakcióidő esetében tapasztalt hatás másképp is értelmezhető, hiszen a szakirodalom alapján a különböző feladatokban az életkor előrehaladtával jelentkező reakcióidő-csökkenés mögött részben az információfeldolgozás sebességének csökkenése illetve a motoros rendszer és a motoros funkciók fejlődése állhat (Kail, 1993; Luna, Garver, Urban, Lazar, & Sweeney, 2004). Ahogyan azt korábban már ismertettük, Batty és Taylor (2002) kutatásukban a viselkedéses változók mellett a P1, N2 és P3 hullámok változásait is nyomon követték. Az életkor előrehaladtával a vizsgált komponensek esetében megfigyelt amplitúdócsökkenések és latenciarövidülések azonban mégis arra utalnak, hogy a kategorizációs folyamatok fejlődése még iskoláskorban is folytatódik, és nem csak egy általános pszichomotoros éréstől van szó. Az elektrofiziológiai adatokból származó eredmények rámutattak arra, hogy bár látszólag egy nagyon egyszerű, a legfiatalabb gyermekek számára is könnyen teljesíthető feladatról van szó a mögöttes neurális folyamatok érése még a vizsgált életkorokban is megfigyelhető.

A vizsgálatban alkalmazott három képtípus (eredeti, ATF, MTF képek) pontosságra és reakcióidőre gyakorolt hatásának elemzésekor azt láthatjuk az alacsony térbeli frekvenciájú képek esetében a résztvevő személyek szignifikánsan pontatlanabbak és lassabbak voltak az eredeti képekhez viszonyítva, ezzel ellentétben az MTF képeknél csak reakcióidőben tapasztaltunk szignifikáns eltérést az eredeti ingerektől (10. ábra). Ezen eredmények alapján úgy tűnhet, hogy az általunk bemutatott ATF és MTF módosított ingertípusok felismerhetősége eltér egymástól, fontos azonban kiemelni, hogy az elemzés ezen pontján a gyermek, illetve felnőtt csoportok együttesen adják ezen eredményt. Korcsoportonként

elemezve a térbeli frekvenciák kivonásának hatását azt láthatjuk, hogy a felnőttek csoportjában nincs szignifikáns különbség az ATF és MTF ingerekre jelentkező reakcióidők között, amely arra utal, hogy a két módosított képtípus felismerhetősége azonos.

Vizsgálatunk azon eredménye, mely szerint a két módosított képtípus tekintetében 7-től 10 éves korig a gyermekek az ATF képek esetében szignifikánsan lassabban hoznak döntést, ezt követően pedig 13-15 éves korban ez a különbség eltűnik (12. ábra), arra enged következtetni, hogy az alacsony térbeli frekvenciákra érzékeny M-csatorna kisiskoláskorban kevésbé érett, és fejlődésének dinamikája 13 éves korig markánsabb. Hasonló eredményeket kaptak Benedek, Benedek, Kéri és Janáky (2003) akik a kontrasztérzékenység fejlődésének feltérképezését tűzték ki célul 5 és 14 éves kor között. Eredményeik szerint mind az M-, mind a P-csatorna esetében megfigyelhető fejlődés, azonban ezen életkorban a magnocelluláris pálya markánsabb éréssel kell számolni. Ezen eredményeket támogatja Adams és Courage (2002) vizsgálatának eredményei is, melyek az M-pálya elhúzódo fejlődésére utalnak.

Összességében tehát a vizsgálat során kapott eredmények arra utalhatnak, hogy a magnocelluláris és parvocelluláris pályák fejlődése még iskoláskorban is folytatódik, továbbá 7 és 13 éves kor között a magnocelluláris pálya erőteljesebb érése figyelhető meg. A megjelenő hatások értelmezése során, fontos az eredmények alternatív magyarázatára is kitérnünk, hiszen elképzelhető, hogy 7-10 éves kor között az alacsony térbeli frekvenciájú képek esetén jelentkező szignifikánsan hosszabb reakcióidő a frontális területek éretlenségével, és így a „top-down” jellegű visszacsatolás elégtelenségével függhet össze. Bar (2003, 2004) eredményei és elmélete szerint felnőttkorban a magnocelluláris pálya fontos a környezetbe ágyazott objektumok kontextustól függő, gyors azonosításában, mely folyamatban az alacsony térbeli frekvenciájú információ a prefrontális kérgi területek bevonásával serkenti a tárgyfelismerés folyamatát. Ezen elméletből kiindulva az eredmények arra (is) utalhatnak, hogy a 7-10 éves korban a gyermekek még kevésbé használják az M-pálya által szállított ATF információt, és ebből adódóan kevésbé erőteljes náluk az ingerek feldolgozásának prefrontális kéregből induló top-down facilitációja. Ezen feltételezéssel mutatnak összefüggést azon vizsgálatok eredményei is, melyek szerint homloklebeny érése az általunk vizsgált életkorban is folytatódik (Gogtay et al., 2004). Mindezek alapján arra következtethetünk, hogy az iskoláskor elején a gyermekek inkább a részletek alapján kategorizálnak/azonosítanak, mely folyamat főként a magas térbeli frekvenciákra érzékeny P-csatornához köthető.

Mindezeket figyelembe véve, ezen eredmények alapján úgy tűnik, hogy a vizuális kategorizációs folyamatok fejlődése még serdülőkorban is folytatódik, és ebben eltérő szerepet játszik a magno- és a parvocelluláris pályák által szállított információ. A mögöttes neurális folyamatok nyomon követésére, illetve annak megerősítésére, hogy a megfigyelt életkori hatások nem csupán a motoros rendszer érésének köszönhetőek, hanem azon képességünk fejlődésének, melynek segítségével képesek vagyunk az egyes tárgyakat, jelenségeket különböző kategóriákba sorolni, további elektrofiziológiai vizsgálatok elvégzését tették indokolttá, melyek eredményeit a disszertáció következő fejezeteiben ismertetjük.

Mielőtt továbblépnénk elektrofiziológiai vizsgálatunk módszertanának részletes bemutatására fontos a pilot vizsgálatban bemutatott ingerek jellemzőiről, beállításairól, hiányosságairól is szólnunk. Pilot vizsgálatunk egyik korlátjának tekinthető, hogy az általunk alkalmazott három ingertípusba tartozó képek luminanciája a térbeli frekvenciák kivonását követően nem került kiegyenlítésre, így az alacsony vagy a magas térbeli frekvenciák kivonása mellett a képtípusok eltérő luminanciája is befolyásolhatta a jelentkező hatásokat. Ezen hiányosságot a folyamat idegrendszeri hátterének vizsgálatakor pótoltuk. Ugyancsak meg kell említenünk, hogy a vizsgálat ezen szakaszában a képek magassága és szélessége nem egyezett meg, mely befolyásolhatta a térbeli frekvenciák kivonásának folyamatát. Ezen beállítást a későbbiekben szintén módosítottuk, hiszen az elektrofiziológiai vizsgálatban a Bar és munkatársai (2006) által alkalmazott és tesztelt képméreteket, szűrőket és beállításokat alkalmaztuk, melyet a következő fejezetben részletesen ismertetünk. Annak ellenére, hogy Bar és kutatócsoportja (2006) vizsgálatában a fMRI és a MEG módszert alkalmazták a mögöttes idegi folyamatok feltérképezésére eredményeink értelmezését segítheti, ha az ingerek előállításának módszertanában az általuk is alkalmazott beállításokat követjük. Pilot vizsgálatunkban három gyermekcsoport szerepelt (7-8, 9-10, valamint 13-15 évesek), elektrofiziológiai vizsgálatunkban azonban az iskoláskorú gyermekek négy csoportját vontuk be (az előzőek mellett 11-12 évesek), annak érdekében, hogy még inkább lefedjük az általunk vizsgálni kívánt életkori sávot.

6 AZ ELEKTROFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATSOROZAT MÓDSZERTANA

Elektrofiziológiai vizsgálatssorozat célja annak vizsgálata, hogy természetes, komplex képek kategorizációja során az alacsony és magas térbeli frekvenciák szűrése, hogyan befolyásolja a viselkedési adatokat, illetve az idegi aktivitást felnőttkorban (1. vizsgálat), 7-15 éves kor között (2. vizsgálat), illetve iskoláskorú fejlődési diszlexiások csoportjában (3. vizsgálat).

6.1 A vizsgálatssorozat mintája

Elektrofiziológiai kutatásunk első szakaszában 21 egészséges fiatal személyt (átlagéletkor: 23,90, szórás: 3,48) kértünk fel állat-jármű kategorizációs feladat végzésére. Második vizsgálatunkban 96 személy vett részt 7-30 éves korig (átlagéletkor: 13,39, szórás: 6,14), akiket életkor szerint 5 csoportba osztottunk: 7-8, 9-10, 11-12, 13-15 éves tipikus fejlődésű gyermekek és felnőttek. A harmadik vizsgálatot 15 fejlődési diszlexiás gyermek (átlagéletkor: 12, szórás: 1,73) bevonásával végeztünk el, a tipikus fejlődésű gyermekeket a már meglévő mintánkból nem, kor, illetve osztályfok alapján illesztettük a csoporthoz. A résztvevők látásélessége minden esetben szükség szerint korrigálva volt.

A vizsgálat során betartottuk a Szegedi Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kar Pszichológiai Intézetének etikai kódexét, a kutatást az Egyesített Pszichológiai Kutatásetikai Bizottság (EPKEB) jóváhagyásával végeztük el. A vizsgálatban való részvétel önkéntes volt, a személyek semmiféle fizetségben vagy jutalomban nem részesültek. A vizsgálatban résztvevő személyeket tájékoztattuk a kísérleti módszerekről, az esetleges kellemetlenségekről (kontaktzselé használata), valamint biztosítottuk őket a bizalmas adatkezelés felől is; a felnőtt vizsgálati személyek a beleegyező nyilatkozatot valamennyien aláírták. A második és harmadik vizsgálat megkezdése előtt az iskolák vezetőjének, a gyermekek szüleinek, és a vizsgálati személynek a hozzájárulását kértük. A gyermek vizsgálati személyek szülei írásos beleegyezésével kerültek a vizsgálati csoportba, a kutatásról történő részletes tájékoztatást mind a személyek, mind a szülők megkapták.

6.2 Ingerek és kísérleti elrendezés

Az állatokat, illetve járműveket ábrázoló, eredetileg színes képeket egy kereskedelmi forgalomban lévő fotó gyűjteményből válogattuk össze (Corel Photo Library). A képeket mindkét kategóriából megpróbáltuk a legnagyobb változatossággal kiválasztani. Az állat kategóriában emlősök, madarak, rovarok, halak és hüllők szerepeltek, a jármű kategóriában pedig autók, teherautók, vonatok, polgári és katonai repülőgépek, illetve hajók voltak láthatók. Fontosnak tartjuk hangsúlyozni, hogy míg a korábbi vizsgálatokban többnyire izolált tárgyakat, élőlényeket mutattak be homogén háttérrel, addig a kutatásunkban komplex ingereket alkalmaztunk, melyeken az állatok/járművek természetes (pl. mező), vagy ember által alkotott környezetükben (pl. utca részlet) szerepelnek, hiszen a mindennapokban, a laboratóriumon kívül ritkán találkozunk környezetükből kiragadt, izolált tárgyakkal, élőlényekkel. Ennek megfelelően a felülről-lefelé ható top-down folyamatok nem csak a formák durva feldolgozásától függ, hanem a kontextuális információ jelenlététől is, amely szintén fontos eleme Bar (2004) modelljének. A képek felbontása 75 pixel/inch, méretük pedig 256×256 pixel volt.

A vizgálatsorozatban három féle ingertípust alkalmaztunk: az eredeti képek mellett azok alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú módosított változatai is bemutatásra kerültek (13. ábra). Az alkalmazott ingerek szürkeárnyalatossá alakításához, illetve a térbeli frekvenciák szűrésére a pilot vizsgálatunkhoz hasonlóan az Adobe Photoshop CS5 szoftvert (Adobe Systems Inc., San Jose, USA) használtuk. A térbeli frekvenciák kivonásának általunk alkalmazott módszere és értékei a vizgálatsorozat egyik alapszakirodalmában (Bar et al., 2006) már alkalmazott és tesztelt módszer. Az alacsony térbeli frekvenciájú képek előállítására a Gaussian blur szűrőt (sugár: 6,1) a magas térbeli frekvenciájú ingereknél pedig az Adobe Photoshop felüláteresztő szűrőt (sugár: 0,3) alkalmaztuk. A képek luminanciájának kiegyenlítése a MATLAB szoftver (MathWorks Inc., Natick, USA) SHINE programcsomagjának (<http://www.mapageweb.umontreal.ca/gosselif/shine/>) segítségével történt.

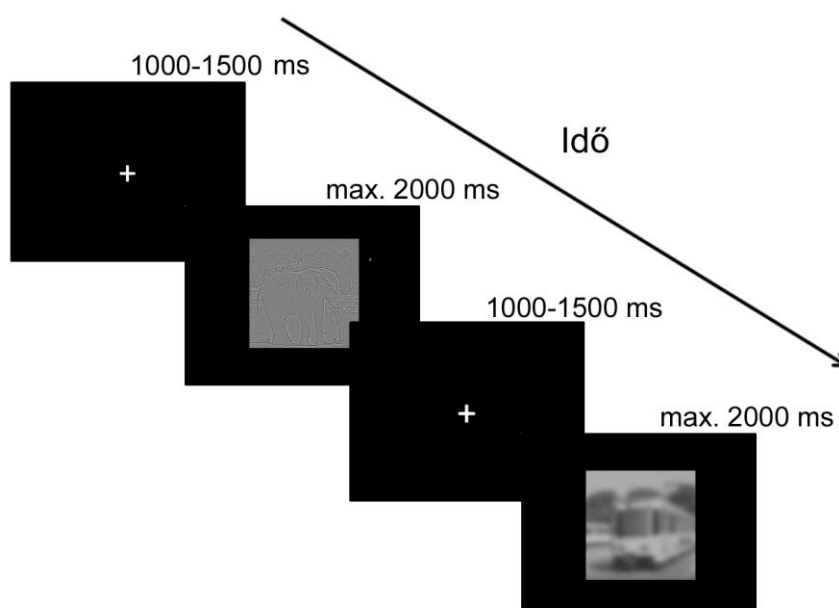


13. ábra: Az ábrán a kutatásban használt eredeti (bal oszlop), alacsony (ATF, középső oszlop), illetve magas térbeli frekvenciájú (MTF, jobb oszlop) képekre látható példa állat, és jármű kategóriában.

Adatbázisunkat összesen 1080 kép alkotta (180-180 állatot vagy járművet prezentáló kép, eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú módosított verzióban). Minden személynek 360 képet mutattunk be random sorrendben, ingertípusonként 120-at, melynek 50%-a állatot, 50%-a járművet ábrázolt. Minden képet csak egyszer, egy kondícióban (csak eredeti, ATF, vagy MTF kondícióban) prezentáltunk a vizsgálati személyeknek, melyet természetesen kiegyenlítettünk az egyes résztvevők között.

A vizsgálati személyek egy hangszigetelt, elsötétített szobában, a monitortól (LG Flatron 20 hüvelykes LCD monitor, felbontás: 1024 x 768; frissítési gyakoriság 75 Hz) 110 cm-re ülve végezték az állat-jármű kategorizációs feladatot. A felnőtt vizsgálati személyek és idősebb gyermekek egyedül tartózkodtak a szobában, a fiatalabb résztvevők mellett bent tartózkodott egy a vizsgálatban közreműködő személy. Annak érdekében, hogy meggyőződjünk arról, hogy a vizsgálat során minden rendben történik a személyeket minden esetben egy szomszédos szobából kamerán keresztül is figyeltük. Az ingerek bemutatása az E-prime program (Psychology Software Tools, Inc., Sharpsburg, USA) segítségével történt. A

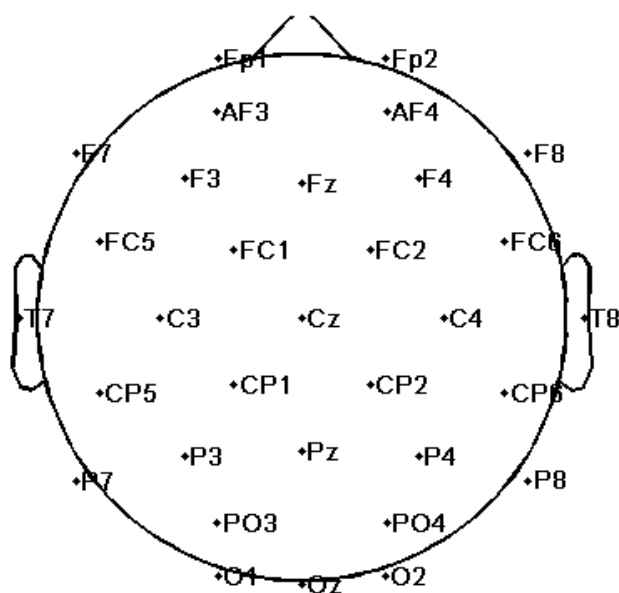
vizsgálatsorozatban egy ún. „forced-choice” állat-jármű kategorizációs feladatot alkalmaztunk, melyben a résztvevő személyeknek jobb vagy bal mutatóujjukkal kellett megnyomniuk a megfelelő válaszgombot. A válaszadás egy speciálisan erre a célra preparált billentyűzet segítségével történt, melyen csak a két válaszbillentyű a „C” és az „M” gombok szerepeltek. A válaszgombokat kiegyenlítettük, vagyis a személyek egy része a „C” billentyűt, a másik fele pedig az „M” billentyűt nyomta meg „állat” válasz esetén. A személyek minden képet 2000 ms-ig láttak, de hangsúlyoztuk, hogy próbálják meg minél gyorsabban megnyomni a megfelelő válaszgombot. A hosszú bemutatási időt a gyermekek részvétele indokolta, valamint a pilot vizsgálatunk eredményei alapján határoztuk meg. Ezen eredmények alapján úgy tűnik, hogy a rövidebb bemutatási idő lényegesen lerontaná a képek azonosításának sikerességét. A stimulusok között megjelenő fixációs kereszt 1000 és 1500 ms-os intervallum között volt látható a képernyőn (14. ábra). Annak érdekében, hogy biztosak legyünk abban, hogy minden résztvevő megértette a feladatot az adatfeltétel gyakorlással kezdődött, az itt bemutatott képeket azonban a későbbiekben már nem prezentáltuk. Az adatfelvétel négy blokkban történt, melyek a sorrendjét szintén kiegyenlítettük.



14. ábra: Az ábra a vizsgálatokban használt képek bemutatásának módját mutatja.

6.3 EEG regisztráció és adatelemzés

Az EEG adatok felvételéhez a BioSemi ActiveTwo Amplifier 32 csatornás készüléket használtuk (BioSemi B. V., Amsterdam, Netherlands) használtuk, a mintavételezési frekvencia 512 Hz volt, frekvencia szűrőt nem alkalmaztunk. Az Ag/AgCl elektródák a nemzetközi 10/20-as rendszernek megfelelően helyeztük el a skalpon egy előre gyártott rugalmas BioSemi EEG sapka segítségével. Az elektródákat az alábbi koordinátáknak megfelelően helyeztük el: Fp1, Fp2, AF3, AF4, F7, F3, Fz, F4, F8, FC5, FC1, FC2, FC6, T7, C3, Cz, C4, T8, CP5, CP1, CP2, CP6, P7, P3, Pz, P4, P8, PO3, PO4, O1, Oz, O2 (15. ábra). A regisztráció során a referencia és a föld elektródák a Cz elektróda közvetlen közelében voltak (Common Mode Sense and Driven Right Leg electrodes in the ActiveTwo System; Metting Van Rijn, Peper, & Grimbergen, 1990).



15. ábra: A vizsgálatban használt elektródák elhelyezése a skalpon.

Az EEG adatok elemzését a MATLAB szoftver (MathWorks Inc., Natick, USA) EEGLAB programcsomagjával (Delorme & Makeig, 2004) végeztük. A vizsgálatssorozatban az elektrofiziológiai adatokat 1300 ms hosszú szakaszokra (az inger megelőző 100 ms-os és azt követő 1200 ms-os szakasz), ún. epochokra szegmentáltuk, majd ezt követően az általunk használt program segítségével, valamint szabad szemmel is átnéztük azokat és eltávolítottuk a műtermékeket. Az epochok száma képtípusonként 120, az elemzésbe azonban csak azok az

epochok kerültek be, ahol a személyek megnyomták a helyes válaszgombot. Az egyes eseményfüggő potenciálok megjelenítése során az epochok végét 500 ms-ra módosítottuk, az LPC-t kivéve (1. vizsgálat), ahol az epoch vége 600 ms-nál volt.

Az elektrofiziológiai adatok esetében több különböző elemzési módszert alkalmaztunk, melyeket az adott vizsgálat „*Módszerek*” fejezetében részletezünk. Az első, csak felnőttek részvételével történő vizsgálatban három elemzési módszer segítségével kíséreltük meg feltárni a kategorizációs feladat végzése közben jelentkező neurális aktivitást az egyes képtípusok esetén. A vizsgálatban ún. pontról-pontra permutációs analízist használtuk az eredeti, ATF és MTF képekre jelentkező eseményfüggő potenciálok páronként összevetésére, ezt követően sor került a skalpeloszlások elemzésére, végül pedig az egyes komponensek (C1, P1, N1, N350, LPC) csúcslatenciáját is megvizsgáltuk. Második vizsgálatunkban, melyben a felnőttek mellett 7-15 éves gyermekek is részt vettek az okcipitális területek felett jelentkező P1 és N1 komponensek amplitúdóját és latenciáját elemeztük. Vizsgálatsorozatunk harmadik részében szintén a korai vizuális komponensek (P1, N1) amplitúdóját és latenciáját vizsgáltuk a fejlődési diszlexiás és tipikus fejlődési gyermekek csoportjában, emellett az első vizsgálatban már alkalmazott pontról-pontra elemzés során a két csoportban jelentkező görbéket képtípusonként vetettük össze.

Az általunk vizsgált komponensek amplitúdójának és latenciájának mérésére az EEGLAB programcsomag ERPLAB (<http://erpinfo.org>) plug-injét alkalmaztuk. Az egyes csúcslatenciák kiszámításához az ERPLAB a megadott időablakokban megkereste a legpozitívabb (P1 és LPC komponensek), illetve a legnegatívabb (C1, N1 és N350 komponensek) csúcsot, melynél $\pm 9,8$ ms-mal (5 adatpont) előre es hátra nem volt pozitívabb/negatívabb érték.

6.4 Statisztika

Elektrofiziológiai vizsgálatsorozatunk során a viselkedéses változókat, illetve a folyamat elektrofiziológiai korrelátumait vizsgáltuk. A viselkedéses adatok elemzése során a pontosságot (a helyes válaszok százalékos aránya), valamint a reakcióidőt (mediánokban) számoltuk ki személyenként, külön minden kondíció esetében. A reakcióidőt csak a helyes válaszok esetén számoltuk ki. Az alkalmazott képtípusok, valamint az életkor és csoportok hatásának vizsgálatára ismételt méréses és egyszempontos varianciaanalízist (ANOVA)

futtattunk le. Az adatok elemzése az SPSS statisztikai programmal (SPSS Inc., Chicago, USA) történt.

A komponensek amplitúdójának és latenciájának vizsgálatára különböző elemzési módszereket alkalmaztunk. Egyrészt az ERPLAB plug-injének segítségével lemért amplitúdó- és latenciaérték vizsgálatára a viselkedéses változóknál is alkalmazott varianciaanalíziseket használtunk (1., 2., és 3. vizsgálat). Emellett az eseményfüggő pontenciálok páronkénti összevetése ún. pontról-pontra permutációs elemzéssel történt (1. és 3. vizsgálat). Továbbá az első vizsgálatban megtörtént az általunk alkalmazott képtípusok által kiváltott skalpeloszlások elemzése is. A pontról-pontra elemzéseket, illetve a skaleloszlások vizsgálatát az EEGLAB-ba beépített statisztikai elemző segítségével végeztük.

A vizsgálatsorozatban alkalmazott statisztikai eljárásokat az adott vizsgálat „*Módszerek*” fejezetében ismertetjük részletesen.

7 ELSŐ VIZSGÁLAT

A VIZUÁLIS KATEGORIZÁCIÓ ELEKTROFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA ALACSONY ÉS MAGAS TÉRBELI FREKVENCIÁJÚ KOMPLEX KÉPEK SEGÍTSÉGÉVEL

7.1 Célkitűzések és hipotézisek

Az alábbiakban az első vizsgálatunkat ismertetjük, melynek egyik fő célja annak vizsgálata, hogy egy fölérendelt szintű vizuális állat-jármű kategorizációs feladatban, az alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú módosított képtípusok hogyan befolyásolják a mögöttes agyi aktivitást az okcipitális, frontocentrális és parietális területek felett. A tárgyfelismerés folyamatát hagyományosan az okcipitális területekkel hozzák összefüggésbe, a legújabb elméletek azonban egyre inkább arra hívják fel a figyelmet, hogy a frontális területek szintén aktív szerepet játszanak a körülöttünk lévő vizuális ingerek felismerésében, azonosításában (Bar, 2003, 2004; Bar et al., 2006). Ennek megfelelően vizsgálatunk másik célja az alacsony és magas térbeli frekvenciák top-down folyamatokban betöltött szerepének vizsgálata állatokat és járműveket ábrázoló komplex képek segítségével.

A korábbi mesterséges ingereket alkalmazó vizsgálatok (Ellemberg et al., 2001; Foxe et al., 2008; Hansen et al., 2011) eredményei alapján azt feltételeztük, hogy a C1-es komponens amplitúdója megnő a magas térbeli frekvenciákat tartalmazó képtípusok esetén. A P1 hullám esetében a hipotézisünk meghatározása korántsem egyszerű, hiszen ahogyan arról korábban már beszámoltunk, míg egyesek az ATF (Ellemberg et al., 2001; Foxe et al., 2008; Hansen et al., 2011), addig mások az MTF információ esetén (Craddock et al., 2013, 2015) tapasztaltak nagyobb amplitúdót. Ezen különbségekre az eltérő ingertípus (mesterséges ingerek vs. izolált tárgyak, élőlények képei), feladat (passzívan fixációs vs. kategoriós feladat), illetve a különböző vizsgált agyi régiók (centrális okcipitális vs. okcipitotemporális) adhatnak magyarázatot. Tekintettel arra, hogy az általunk alkalmazott ingerek és feladat leginkább a Craddock és munkatársai (2013, 2015) vizsgálatában alkalmazottakkal mutatnak hasonlóságot, így mind a P1 mind az azt követő N1 tekintetében ezen eredményeket szem előtt tartva fogalmaztunk meg hipotéziseinket, vagyis azt feltételezzük, hogy mindkét komponens esetében a magas térbeli frekvenciákat tartalmazó ingerek (eredeti és MTF képek)

esetén figyelhető meg nagyobb amplitúdó. Feltételeztük továbbá, hogy a top-down hatások - melyek főként a tapasztalt amplitúdó változások és modulációk anterior területek felé történő terjedésében, valamint a poszterior N1 latenciájának rövidülésében nyilvánul meg - a 140 ms-tól 200 ms-ig terjedő időablakban tapasztalhatók majd. Mivel az ún. kétállapotos modell (Schendan & Kutas, 2007; Schendan & Lucia, 2010) szerint az N350 és LPC komponensek főként poszt-perceptuális folyamatokat tükröznek, azt vártuk, hogy ezen komponensek amplitúdója és latenciája függ majd leginkább össze a résztvevők kategorizációs teljesítményével pontosság és reakcióidő tekintetében (Craddock et al., 2013).

7.2 Módszerek

7.2.1 Résztvevők

Kutatásunkban 21 egészséges fiatal személyt (átlagéletkor: 23,905, szórás: 3,477, 13 nő) kértünk fel állat-jármű kategorizációs feladat végzésére. A résztvevők látásélessége minden esetben szükség szerint korrigálva volt, egyikük sem szenvedett fejlődési, pszichiátriai, vagy neurológiai rendellenességben. A vizsgálatban résztvevő személyeket tájékoztattuk a kísérleti módszerekről, az esetleges kellemetlenségekről (kontaktzselé használata), valamint biztosítottuk őket a bizalmas adatkezelés felől is; a beleegyező nyilatkozatot valamennyien aláírták. A személyek önkéntes alapon vállalták a vizsgálatban való részvételt, amiért semmilyen jutalomban, vagy fizetségben nem részesültek. A vizsgálat során betartottuk a Szegedi Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kar Pszichológiai Intézet etikai kódexét.

7.2.2 Ingerek és kísérleti elrendezés

A vizsgálatban alkalmazott ingereket, valamint a részletes kísérleti elrendezést a 6.2 fejezetben ismertettük.

7.2.3 EEG regisztráció és adatelemzés

Az EEG regisztrációt, illetve az elektrofiziológiai adatok elemzését a 6.3 fejezetben részben már bemutattuk, így azokat nem részletezzük újra. Az ott bemutatott protokollt alkalmazva ezen vizsgálat esetében az adatok 12,77%-át kellett eltávolítanunk az elemzésből.

Az elektrofiziológiai adatok esetében három különböző elemzési módszert alkalmaztunk. Az ún. pontról-pontra permutációs analízist használtuk az eredeti, ATF és MTF képekre jelentkező eseményfüggő potenciálok páronként összevetésére (eredeti vs. ATF, Eredeti vs. MTF, ATF vs. MTF) minden adatvételezési pont esetében (körülbelül 2 ms-onként). Ezen elemzést külön végeztük el az okcipitális (O1, Oz, O2), frontocentrális (FC1, Fz, FC2), illetve a centroparietális (P3, Pz, P4) régiók felett elhelyezett elektródák jelét átlagolva, továbbá a bal (P7) és jobb oldali parietális (P8) területek esetében. A poszterior C1 komponenst az okcipitális régió, a P1 és N1 hullámot az okcipitális és parietális elektródákon elemeztük, az N350-es hullám vizsgálata a frontocentrális területeken történt, míg a térbeli frekvenciák LPC-re gyakorolt hatását a centroparietális elektródákon elemeztük. Választásunk a pontról-pontra elemzésre esett a szélesebb körben ismert és alkalmazott „baseline-to-peak” amplitúdó elemzés helyett (melyben csúcsonként mérjük az amplitúdót az alapvonaltól), mert úgy tűnik, hogy az egyes komponensek csúcsainak paraméterei nem feltétlenül írják le, vagy fejezik ki megfelelően a különböző neurális folyamatokat (Schyns, Petro, & Smith, 2007), továbbá egyre inkább elterjedt az a nézet, mely szerint az elektrofiziológiai kutatások során az összes adatpontot meg kell vizsgálnunk annak érdekében, hogy jobban megértsük a mögöttes idegi aktivitás dinamikáját (Rousselet & Pernet, 2011).

Ezt követően az általunk alkalmazott három képtípusra jelentkező skalpeloszlások elemzését végeztük el az egyes komponensek esetében a szakirodalom alapján meghatározott időablakoknak megfelelően: 80-110 ms (poszterior C1), 120-160 ms (poszterior P1), 170-210 ms (poszterior N1), valamint 300 és 400 ms között (anterior N350). Ez az elemzés különbözik az előzőekben részletezett pontról-pontra elemzéstől, hiszen ebben az esetben egy előre meghatározott időintervallumban hasonlítjuk össze az átlag amplitúdót az összes skalpelektroda esetében külön-külön, szemben az utóbbival, mely során két képtípusra jelentkező görbét vetünk össze az összes mintavételezési pont esetében egy adott csatornán. Ennek megfelelően a két statisztikai elemzés eredményei direkt módon nem vethetők össze.

Végezetül pedig a C1, P1, N1, N350 és LPC komponensek csúcslatenciájának mérésére az EEGLAB programcsomag ERPLAB (<http://erpinfo.org>) plug-injét alkalmaztuk. A C1-et az okcipitális, a P1 és N1 komponenseket az okcipitális és parietális, az N350-en hullámot a frontocentrális, míg az LPC-t (450-600 ms) a centroparietális területek felett mértük. Az egyes csúcslatenciák kiszámításához az ERPLAB a megadott időablakokban megkereste a legpozitívabb (P1 és LPC komponensek), illetve a legnegatívabb (C1, N1 és N350 komponensek) csúcsot. Ezen elemzés esetében is az okcipitális (O1, Oz és O2), frontocentrális

(FC1, Fz, FC2) és centroparietális (P3, Pz, P4) területek esetében az átlagolt adatokat alkalmaztuk.

7.2.4 Statisztikai eljárás

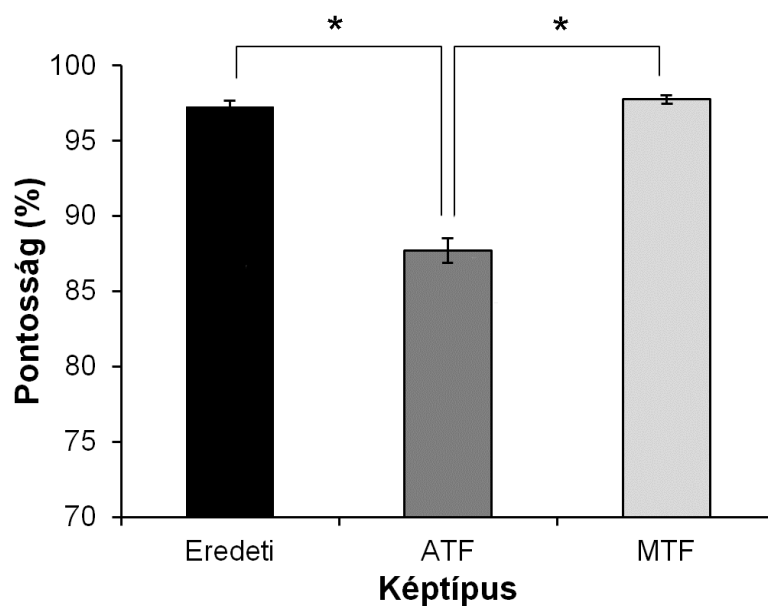
A viselkedési adatok (pontosság és RT), valamint a C1, N350 és az LPC komponensek csúcslatenciájának elemzésekor ismételt méréses varianciaanalízist (ANOVA) végeztünk, ahol a KÉPTÍPUS (eredeti, alacsony térbeli frekvenciájú és magas térbeli frekvenciájú képek) mint összetartozó mintás változó szerepelt. Ezen komponenseket csak egy régióon vizsgáltuk (okcipitális, frontocentrális, vagy centroparietális területek). Tekintettel arra, hogy a P1 és az N1 komponensek latenciáértékeit három régió (okcipitális, bal, illetve jobb oldali parietális területek) esetében vizsgáltuk, így ezen poszterior hullámok esetében a KÉPTÍPUS mellett a RÉGIÓ is szerepel összetartozó mintás változóként. A páronkénti összehasonlítások esetén Bonferroni post hoc tesztet alkalmaztunk. Szükség esetén Greenhouse-Geisser korrigált p értékeket, valamint megfelelő epszilon korrekciót is feltüntettük. A jelentkező hatások nagyságának demonstrálására a parciális eta négyzet (η^2) értékek is szerepelnek. Az adatok elemzése során $p < 0,05$ szignifikanciaszintet alkalmaztunk. A viselkedési adatok és a vizsgált eseményfüggő potenciálok latenciája között korrelációs mutatókat a Pearson-féle korreláció segítségével határoztuk meg.

Az EEG adatok amplitúdójának elemzéséhez alkalmazott pontról-pontra és skalpeloszlás vizsgálatokat az EEGLAB-be programozott statisztikai elemző segítségével végeztük, 0,01-es szignifikanciaszint mellett, permutációs elemzést alkalmazva (Blair & Karniski, 1993).

7.3 Eredmények

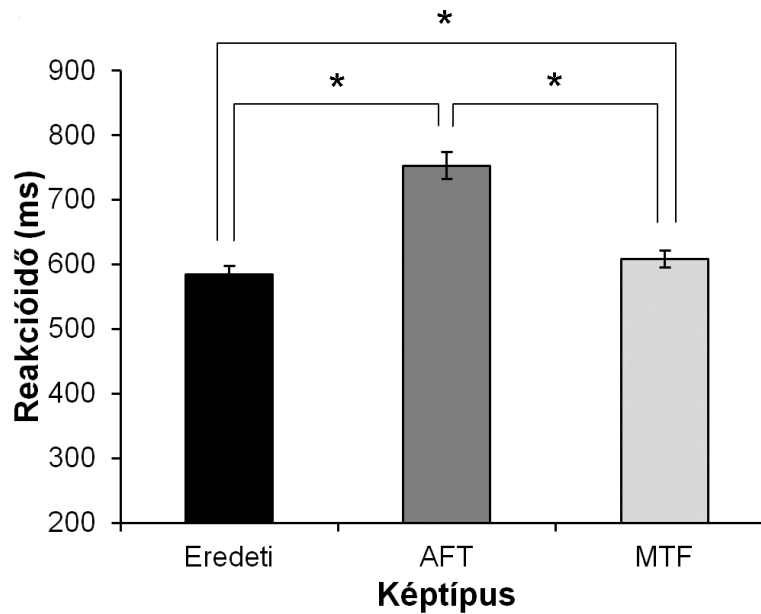
7.3.1 Viselkedési adatok

A pontosság adatok vizsgálatakor szignifikáns KÉPTÍPUS főhatást [$F(1,366, 27,329) = 172,807$, $\varepsilon = 0,683$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,896$] tapasztaltunk. A Bonferroni post hoc teszt az eredeti és a magas térbeli frekvenciájú képekre jelentkező pontosság adatok között nem mutatott szignifikáns különbséget, az ATF képekre azonban a személyek szignifikánsan pontatlanabban teljesítettek a másik két képtípushoz viszonyítva (mindkét esetben: $p < 0,001$) (16. ábra).



16. ábra: Az ábra az eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú módosított képek esetében jelentkező pontosság (%) adatok átlagát és a szórást mutatja. A csillagok a Bonferroni post hoc elemzések szignifikáns különbségeit jelölik.

A reakcióidő elemzése során a KÉPTÍPUS főhatás [$F(1,13, 22,609) = 128,279$, $\epsilon = 0,565$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,865$] szintén szignifikánsnak bizonyult. A post hoc elemzések rámutattak arra, hogy az általunk alkalmazott három képtípus szignifikánsan különbözik egymástól ($p < 0,001$), hiszen míg legrövidebb reakcióidő az eredeti képekre jelentkezett, addig a leghosszabb válaszadási időt az alacsony térbeli frekvenciákat tartalmazó képek bemutatása során regisztráltunk (17. ábra).



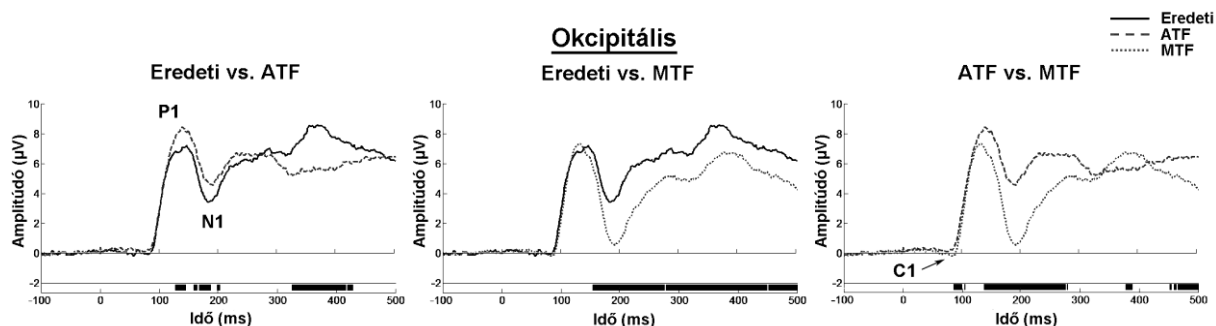
17. ábra: Az ábra az eredeti, ATF, illetve MTF képek esetében jelentkező reakcióidő (ms) adatok átlagát és szórását mutatja. A csillagok a Bonferroni post hoc elemzések szignifikáns különbségeit jelölik.

7.3.2 Elektrofiziológiai adatok

7.3.2.1 Pontról-pontra elemzés

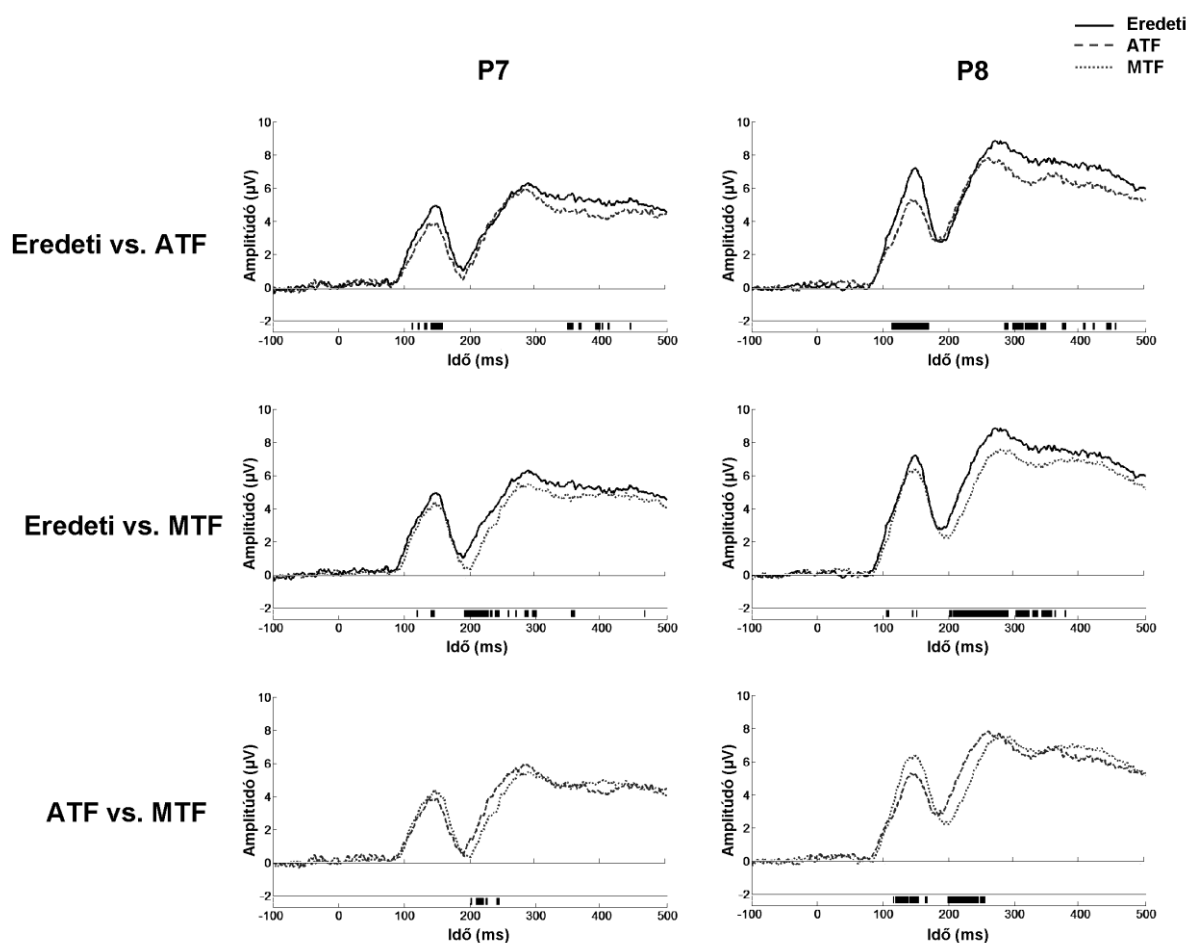
A térbeli frekvenciák módosító hatását az okcipitális területek felett (O1, Oz és O2 elektródák jele átlagolva) jelentkező eseményfüggő komponensekre a 18. ábra mutatja. A pontról-pontra permutációs statisztikai elemzések alapján az eredeti és az ATF képek összehasonlításakor szignifikáns, a térbeli frekvencia változásával összefüggő amplitúdó különbségek figyelhetők meg 127 ms-tól és 203 ms-ig időszakosan, valamint később 324 és 428 ms között. Az eredeti és a magas térbeli frekvenciákat tartalmazó képek esetében a képtípus módosító hatása 154 ms-tól jelentkezik, és folyamatosan egészen az epoch végéig (500 ms) megfigyelhető. A két módosított képtípus által kiváltott amplitúdók elemzésekor nagyon korán, már a C1-es komponens időintervallumában (86-106 ms) különbség figyelhető meg, pontosabban a magas térbeli frekvenciájú ingerek nagyobb amplitúdójú C1-es hullámot váltanak ki. Ezt követően további három szakaszban figyelhető meg szignifikáns képtípus hatás: 137 és 279 ms között (mely a poszterior P1 és N1 komponensek időintervallumának feleltethető meg) az ATF ingerekre pozitívabb amplitúdó jelentkezik, mint az MTF képekre,

ezt követően azonban 377 ms-tól 389 ms-ig a mintázat megfordul. Végül az epoch utolsó 50 ms-ában (451-500 ms) ismételten a MTF módosított képeknél tapasztalhatunk nagyobb negativitást.



18. ábra: Az ábra a térbeli frekvenciák moduláló hatását mutatja az okcipitális (az O1, Oz és O2 elektródák jelei átlagolva) területek felett regisztrált eseményfüggő potenciálokra. Az ábrák alján szereplő fekete sáv a páronkénti összehasonlítás szignifikáns különbségeit jelzi 0,01-es szignifikanciaszint mellett, permutációs statisztikai elemzést alkalmazva.

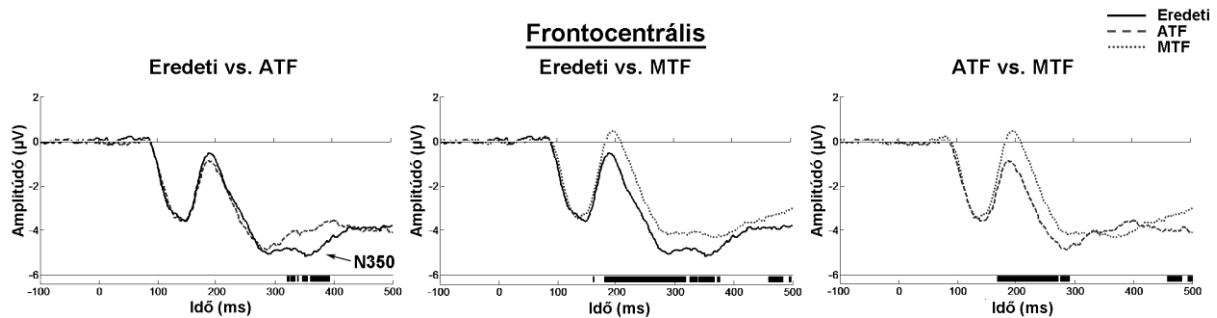
Az oldalsó területek felett elhelyezett P7 és P8-as elektródákon regisztrált elektrofiziológiai adatok elemzésekor a P8-as elektródán hosszabb ideig tartó és kifejezettebb képtípus hatás figyelhető meg, mint a P7-es esetében (19. ábra). Az eredeti és az alacsony térbeli frekvenciájú képek esetében két időintervallumban tapasztaltunk szignifikáns amplitúdó különbséget: a P7-en szakaszosan 111-158 ms, valamint 348-447 ms között; a P8 esetében pedig 113-172 ms, illetve 285-455 ms között. Az eredeti és a csak magas térbeli frekvenciákat tartalmazó ingerek összevetésekor szignifikáns hatások a P1-es komponens idejében (P7: 119–123 ms és 141–146 ms; P8: 103–109 ms, 144–152 ms), valamint később az N1-es hullámtól kezdődően (P7: 191–303 ms és 353–359 ms; P8: 201–381 ms) jelentkeztek. Az ATF és MTF képekre jelentkező amplitúdók összevetésekor szignifikáns különbség az előzőekhez képest rövidebb időintervallumokban figyelhető meg: a P7-es elektródán 201 ms-tól 244 ms-ig, míg a P8-as esetében 113–168 ms valamint 199–256 ms között. Összességében úgy tűnik, hogy a jobb oldali parietális területek felett a képtípus módosító hatása hosszabb ideig és valamivel kifejezettebben jelentkezik.



19. ábra: Az ábrán az alkalmazott térbeli frekvenciák módosító hatása látható a bal (P7-es elektróda) és jobb (P8-as elektróda) oldali parietális területek felett elhelyezett elektródákon jelentkező eseményfüggő potenciálokra. Az ábrák alján szereplő fekete sáv a páronkénti összevetések szignifikáns különbségeit jelzi 0,01-es szignifikanciaszint mellett, permutációs elemzést alkalmazva.

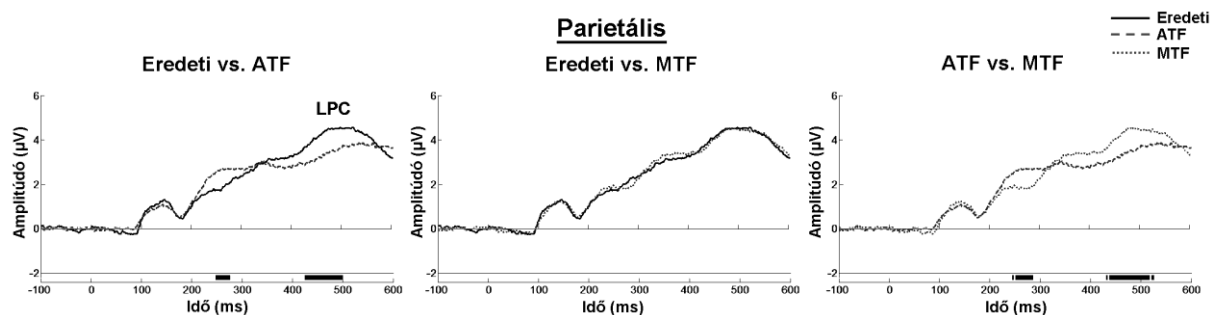
A frontocentrális területeken (FC1, Fz és FC2 elektródák) a feldolgozás korai szakaszában az egyes képtípusokra jelentkező eseményfüggő potenciálok összevetésekor az okcipitális területekhez képest más mintázat figyelhető meg (20. ábra). Az eredeti és az alacsony térbeli frekvenciájú képek esetében a feldolgozás korai szakaszában az elemzés nem mutatott szignifikáns különbséget. A képtípus módosító hatása ezen képpárok vizsgálatakor csak 320 és 395 ms között jelentkezik (mely az anterior N350 komponens időintervallumának feleltethető meg), amikor is az alacsony térbeli frekvenciájú ingerekre kevésbé negatív amplitúdó tapasztalható. Az eredeti és az MTF ingerek összevetésekor már 178 ms-tól jelentkezik az amplitúdó különbség, mely csaknem egyenletesen egészen 379 ms-ig megfigyelhető, továbbá 459 ms-tól az epoch végéig újabb szignifikáns hatás mutatkozik. Az alacsony és magas térbeli frekvenciájú ingerek összehasonlításakor a képtípus hatás szintén

már a feldolgozás korai szakaszában 168 ms-tól jelentkeznek, viszont az előzőnél rövidebb ideig 291 ms-ig tapasztalható, ennek megfelelően az N350 komponens idejében a két görbe nem különbözik egymástól szignifikánsan. Az epoch utolsó néhány milliszekundumában 457-500 ms között jelentkező különbség újra szignifikánsnak mutatkozik.



20. ábra: Az ábra a térbeli frekvenciák moduláló hatását mutatja frontocentrális (az FC1, Oz és FC2 elektródák jelei átlagolva) területek felett regisztrált eseményfüggő potenciálokra. Az ábrák alján szereplő fekete sáv a páronkénti összehasonlítás szignifikáns különbségeit jelzi 0,01-es szignifikanciaszint mellett, permutációs statisztikai elemzést alkalmazva.

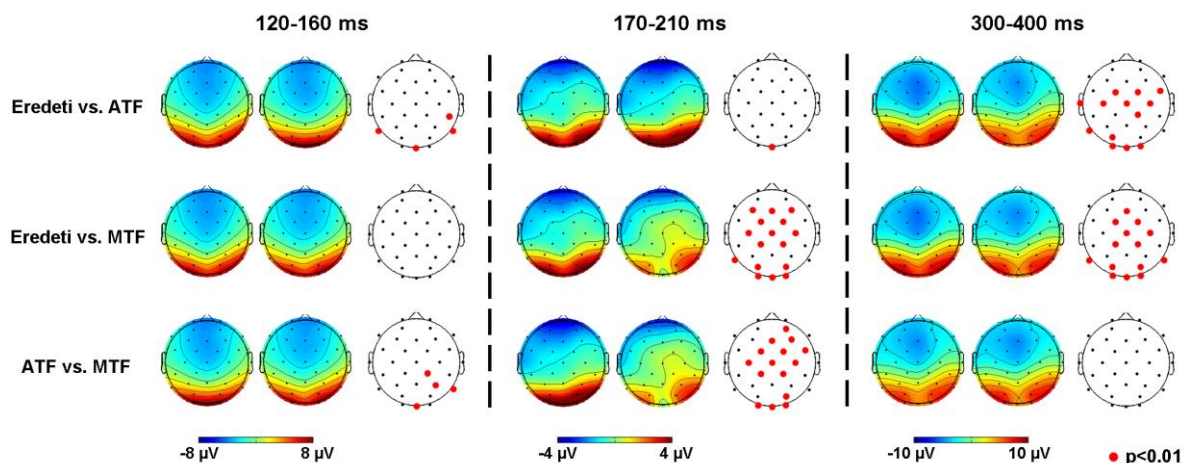
A centroparietális területek felett regisztrálható LPC hullám időintervallumában szignifikáns amplitúdó különbséget figyeltünk meg az eredeti és az alacsony térbeli frekvenciájú képek, valamint a két módosított képtípus összevetésekor. Az eredeti és az MTF képek által kiváltott ERP-k ezen időintervallumban a centroparietális területeken nem különböznek egymástól szignifikánsan (21. ábra).



21. ábra: Az ábrán a térbeli frekvenciák módosító hatása látható az LPC komponensre a centroparietális területek felett (a P3, Pz és P4 elektródákon regisztrált jelek átlagolva). Az ábrák alján szereplő fekete sáv a páronkénti összevetések szignifikáns különbségeit jelzi 0,01-es szignifikanciaszint mellett, a permutációs elemzés során.

7.3.2.2 A skalpeloszlások vizsgálata

A vizsgálat során alkalmazott három képtípusra (eredeti, ATF, MTF) jelentkező skalpeloszlások a P1, N1 és N350 komponensek időintervallumában, valamint a skalpeloszlások statisztikai elemzésének eredményei a 22. ábrán láthatók, továbbá azon elektródák neveit, melyeken a hatás szignifikánsak bizonyult a 4. táblázat mutatja.



22. ábra: Az ábra az eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú képek által kiváltott skalpeloszlásokat mutatja három időablakban: 120-160 ms (poszterior P1), 170-210 ms (poszterior N1) és 300-400 ms (frontocentrális N350). Az ábrán a skalpeloszlások statisztikai összevetésének eredményei is szerepelnek, a piros pontok a szignifikáns különbségeket jelzik 0,01 szignifikanciaszint mellett, permutációs elemzést alkalmazva.

Az általunk vizsgált első időintervallumban 80 és 110 ms között (C1) csak a két módosított képtípus között figyelhető meg szignifikáns különbség a hátulsó okcipitális területek felett (O1, Oz és PO4 elektródák). A következő időablakban 120 és 160 ms között (P1 komponens időablakában) az alacsony térbeli frekvenciájú képek skalpeloszlása, mind az eredeti, mind a magas térbeli frekvenciájú képekkel való összevetés során szignifikáns különbségeket mutatott, mely az okcipitális területek mellett a parietális területeken is észlelhető (eredeti vs. ATF: Oz, P7, P8, CP6; ATF vs. MTF: Oz, P8, P4, CP2). Az N1 komponens időintervallumában (170-210 ms) az eredeti és az alacsony térbeli frekvenciájú képekre jelentkező skalpeloszlások összevetésekor csak az Oz elektródán figyelhető meg szignifikáns különbség. Ezzel ellentétben, sokkal kiterjedtebb képtípus hatás figyelhető meg a magas térbeli frekvenciájú ingernek az eredeti és az alacsony térbeli frekvenciájú képek által kiváltott skalpeloszlásokkal történő összehasonlításakor, hiszen ezen elemzések során a

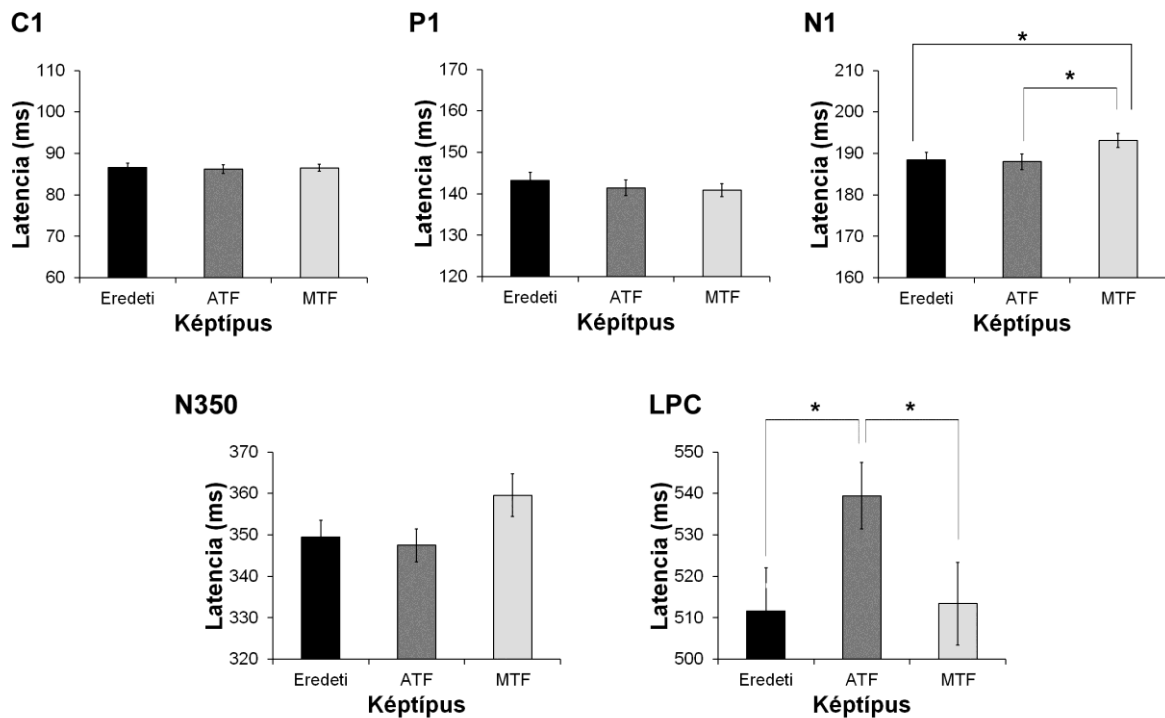
hátulsó területek mellett a szignifikáns hatások áterjednek a centrális és anterior területekre is. Az MTF és eredeti képek skalpeloszlása az Fz, F3, F4, FC1, FC2, Cz, C3, C4, CP1, CP2, P7, PO3, PO4, Oz, O1 és az O2 elektródák esetében mutat szignifikáns különbséget. A két módosított képtípus (ATF vs. MTF) összevetésekor pedig az AF4, Fz, F4, FC1, FC2, Cz, C3, C4, CP1, CP2, PO4, Oz, O1, illetve az O2 elektródákon figyelhető meg szignifikáns képtípus hatás. Az ATF és MTF képtípus közötti különbségek az utolsó vizsgált időablakban 300 és 400 ms között (N350 komponens) eltűnnek. Ezzel ellentétben, az eredeti és a két módosított ingertípusok skalpeloszlásának elemzésekor több elektróda esetében is szignifikáns képtípus hatás jelentkezik (eredeti vs. ATF: FC1, FC2, FC6, Cz, C3, C4, T7, CP2, P7, PO3, Oz, O1, O2 elektródák; eredeti vs. MTF: Fz, FC1, FC2, Cz, C4, CP1, CP1, P7, P8, PO3, PO4, Oz, O1, O2 elektródák). Ezen eredmények összhangban vannak a korábban ismertetett pontról-pontra permutációs statisztikai elemzés eredményeivel, vagyis a térbeli frekvencia alapú amplitúdó különbségek a P1-es komponensig csak a hátulsó területeken figyelhető meg, míg az anterior hatások, csak az N1 komponens idejétől jelennek meg, abban az esetben, ha a képekből eltávolítjuk az alacsony térbeli frekvenciákat.

4. táblázat: A táblázat a skalpeloszlások statisztikai elemzésének eredményeit mutatja. A táblázatban azon elektródák szerepelnek, melyek esetében a páronkénti összevetés során a különbségek szignifikánsnak bizonyultak ($p < 0,01$).

	80-110 ms	120-160 ms	170-210 ms	300-400 ms
Eredeti vs. ATF	--	Oz, P7, P8, CP6	Oz	FC1, FC2, FC6, Cz, C3, C4, T7, CP2, P7, PO3, Oz, O1, O2
Eredeti vs. MTF	--	--	Fz, F3, F4, FC1, FC2, Cz, C3, C4, CP1, CP2, P7, PO3, PO4, Oz, O1, O2	Fz, FC1, FC2, Cz, C4, CP1, CP1, P7, P8, PO3, PO4, Oz, O1, O2
ATF vs. MTF	O1, Oz, PO4	Oz, P8, P4, CP2	AF4, Fz, F4, FC1, FC2, Cz, C3, C4, CP1, CP2, PO4, Oz, O1, O2	--

7.3.2.3 A latencia értékek elemzése

A vizsgálat során jelentkező csúcs latencia értékek elemzésének eredményeit a 23. ábra mutatja. Az okcipitális területek felett jelentkező C1 komponens esetében a KÉPTÍPUS főhatás nem bizonyult szignifikánsnak [$F(2, 40) = 0,139$, $p = 0,871$, $\eta^2 = 0,007$]. A P1 hullám csúcs latencia értékeinek vizsgálatakor csak a RÉGIÓ főhatás mutatkozott szignifikánsnak [$F(2, 40) = 4,238$, $p = 0,021$, $\eta^2 = 0,175$], mely hatás a Bonferroni post hoc teszt alapján annak köszönhető, hogy az okcipitális területek felett regisztrálható latenciák szignifikánsan rövidebbek, mint a P8-as elektróda fölött mért értékek ($p = 0,028$). Az N1 esetében a statisztikai elemzéseket követően szignifikáns KÉPTÍPUS főhatást találtunk [$F(2, 40) = 8,219$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,291$], hiszen az egyes képtípusok összehasonlításakor szignifikánsan hosszabb latencia figyelhető meg a MTF módosított képek esetében az eredeti ($p = 0,001$), illetve a csak alacsony térbeli frekvenciákat tartalmazó ingerekhez ($p = 0,006$) viszonyítva. Ezen hatás változik az általunk vizsgált régiók esetében, melyre a szignifikáns KÉPTÍPUS \times RÉGIÓ interakció mutat rá [$F(4, 80) = 3,491$, $p = 0,011$, $\eta^2 = 0,149$]. Az alacsony és magas térbeli frekvenciájú képek vizsgálatakor jelentkező latencia különbség nagyobb a P8-as elektródán (Bonferroni post hoc teszt ATF vs. MTF: $p = 0,005$) a P7-es ($p = 0,085$), valamint az okcipitális területek felett elhelyezett elektródákkal ($p = 1$) összevetve. Ezen komponens esetében a RÉGIÓ főhatás nem volt szignifikáns [$F(2, 40) = 0,412$, $p = 0,665$, $\eta^2 = 0,02$]. A frontocentrális N350 komponens vizsgálatakor megközelítőleg 10 ms-mal hosszabb latencia figyelhető meg a MTF képekre szemben az eredeti és ATF ingerekkel, a KÉPTÍPUS főhatás azonban csak tendenciaszintű [$F(2, 40) = 2,915$, $p = 0,066$, $\eta^2 = 0,127$]. Végezetül szignifikáns KÉPTÍPUS főhatást figyeltünk meg a centroparietális területek felett mérhető LPC hullám latenciaértékeinek elemzése során [$F(2, 40) = 5,943$, $p = 0,005$, $\eta^2 = 0,229$]. Az egyes képtípusokra jelentkező csúcs latenciák páronkénti összehasonlítása szerint szignifikánsan hosszabb latencia figyelhető meg az alacsony térbeli frekvenciájú ingerek esetében az eredeti ($p = 0,02$) és a magas térbeli frekvenciájú képekhez ($p = 0,018$) viszonyítva.



23. ábra: Az ábrán a C1, P1, N1, N350 és az LPC komponensek latencia értékeinek átlaga és a szórás láthatók az általunk vizsgált három képtípus esetében. A csillagok a Bonferroni post hoc elemzés szignifikáns különbségeit ($p < 0,05$) jelzik.

Az általunk vizsgált komponensek latenciáinak és a viselkedési adatok korrelációjának vizsgálatakor szignifikáns pozitív korrelációt figyeltünk meg az eredeti és MTF képek által kiváltott LPC csúcs latenciája, valamint a reakcióidő között [eredeti képek: $r(19) = 0,626$, $p = 0,002$; MTF ingerek: $r(19) = 0,594$, $p = 0,005$], továbbá gyenge korrelációt tapasztaltunk az alacsony térbeli frekvenciájú módosított képtípus esetében [$r(19) = 0,386$, $p = 0,084$]. Az elemzések további szignifikáns korrelációt nem igazoltak.

7.4 Az első vizsgálat eredményeinek megvitatása

Jelen vizsgálatban az alacsony, illetve a magas térbeli frekvenciák top-down folyamatokban betöltött szerepét vizsgáltuk egy fölérendelt vizuális kategorizációs feladatban, állatokat és járműveket ábrázoló komplex képek segítségével. A viselkedési adatok (pontosság és reakcióidő) és az egyes vizuális komponensek idejében jelentkező skalpelosztlások vizsgálata mellett, célunk volt az okcipitális, frontocentrális, illetve parietális területeken jelentkező idegi aktivitás időbeli lefolyásának, dinamikájának pontosabb

megértése is. Annak ellenére, hogy Bar (2003, 2004) elméletében hangsúlyozza a térbeli frekvenciák tárgyfelismerésben betöltött szerepét, továbbá számos vizsgálatot találunk a térbeli frekvenciák eseményfüggő potenciálokra (főként korai komponensek: C1, P1, N1) gyakorolt hatására vonatkozóan, nem tudunk olyan elektrofiziológiai vizsgálatról, amelynek sikerült volna a kettőt összekapcsolni, illetve az elméletet alátámasztani, vagy megcáfolni. Kutatásunkban Bar (2003, 2004) elméletét szem előtt tartva igyekszünk megragadni a folyamat komplexitását, egyrészt az egész agyra kiterjedő aktivitásmintázatok vizsgálatával, továbbá annak időbeli változásainak követésével, nem csak az okcipitális területek, hanem a frontális és parietális területek felett is.

Az általunk alkalmazott képtípusok állat-jármű kategorizációs feladatban jelentkező pontosságra és reakcióidőre gyakorolt hatásának tanulmányozásakor azt láthatjuk, hogy az alacsony térbeli frekvenciájú képek esetében a résztvevők szignifikánsan pontatlanabbak és lassabbak voltak az eredeti, valamint a magas térbeli frekvenciájú ingerekkel összevetve. Az MTF képtípus esetében csak a reakcióidő latenciájának megnyúlásában tapasztaltunk szignifikáns eltérést az eredeti képektől. Összességben megállapítható, tehát, hogy az eredeti képekhez viszonyítva a csak alacsony térbeli frekvenciákat tartalmazó ingerek kategorizációja szignifikánsan nehezebb volt, mint azoké, amelyek finom részleteket tartalmaznak (MTF képek). Ezen eredmények összhangban vannak Craddock és munkatársai (2013, 2015) viselkedéses változók esetében tapasztalt eredményeivel.

Az okcipitális területek felett jelentkező korai komponenseknél, a poszterior C1 és P1-nél vizsgálatunkban komplex ingerek esetén sikerült kimutatnunk a szakirodalomban korábban mesterséges ingereket alkalmazó vizsgálatokban (Ellemberg et al., 2001; Foxe et al., 2008; Hansen et al., 2011) jelentkező hatásokat. Eredményeink szerint a C1-es komponens esetében a magas térbeli frekvenciák váltanak ki nagyobb amplitúdót és bár ezen komponens idejében tapasztalt hatás viszonylag kicsi, fontos kiemelni, hogy 0,01-es szignifikanciaszint mellett mind a két elemzés (pontról-pontra és skalpeloszlások elemzése) során megfigyelhető. A P1 hullám változásának elemzésekor eltérő mintázatot figyeltünk meg az okcipitális területek középvonalán, valamint a bal és jobb oldali parietális területek felett elhelyezett elektródák esetében. Az okcipitális területek felett az ATF ingerekre tapasztaltunk nagyobb P1-es amplitúdót, mely összhangban van mesterséges ingereket (Ellemberg et al., 2001; Hansen et al., 2011), valamint módosított arcokat (Nakashima et al., 2008) bemutató vizsgálatok eredményeivel, viszont ellentmond Craddock, Martinovic, és Müller 2013-as kutatásának. Laterálisan ezzel ellentétes mintázat figyelhető meg, hiszen a P7 és P8-as elektródákon a csak

magas térbeli frekvenciákat tartalmazó képekre jelentkezik a legnagyobb pozitivitás. Ezen oldalsó területek vizsgálva hasonló eredményekről számoltak be Craddock és munkatársai (2013, 2015). Tudomásunk szerint a centrális és oldalsó területek felett tapasztalt eltérő térbeli frekvencia hatásokat nem tanulmányozták részletesen, azonban elképzelhető, hogy ez a jelenség azon forráselemzésből származó eredményekkel magyarázható, melyek arra mutatnak rá, hogy az ATF és MTF ingerek eltérő agyi régiókat aktiválhatnak (azaz laterális és mediális okcipitális régió) (Kenemans, Baas, Mangun, Lijffijt, & Verbaten, 2000).

A poszterior N1 komponens esetében szignifikánsan nagyobb amplitúdó figyelhető meg az MTF képekre a másik két ingertípussal összevetve, valamint a magas térbeli frekvenciákat is tartalmazó eredeti képek nagyobb negativitást váltanak ki, mint az ATF képek. Ez a hatás szintén összecseng Craddock és munkatársai (2013, 2015) eredményeivel, és egyben arra utal, hogy a poszterior N1 a finom részletek feldolgozását tükrözi (Vogel & Luck, 2000). Egy korábbi vizsgálatunkban különböző mértékben felismerhető pixelekre vágott és összekevert komplex ingereket alkalmazva egyre nagyobb N1 amplitúdót tapasztaltunk a pixelek nagyságának csökkenésével párhuzamosan, mely hatást úgy értelmeztük, mint egyfajta eltolódást a holisztikus feldolgozási folyamatoktól a lokális feldolgozási folyamatok felé (Rokszin et al., 2015).

A frontális területek felett a térbeli frekvenciák moduláló hatása körülbelül 180 ms-tól jelentkezik (a poszterior N1 időtartománya), mely a skalpeloszlások és az pontról-pontra permutációs elemzés tekintetében is kimutatható. Ezen eredmények összhangban vannak Bar és munkatársai (2006) MEG és fMRI módszereket alkalmazó kutatásának eredményeivel, mely szerint a magas térbeli frekvenciájú képek által kiváltott agyi aktivitás eltér a másik két képtípus által kiváltott neurális válaszoktól, arra utalva, hogy a frontális régió eltérő mértékben involválódik az M-csatorna által szállított alacsony térbeli frekvenciájú információ feldolgozásában. Fontos azonban kiemelni, hogy míg a fent részletezett hatás Bar és munkatársai (2006) vizsgálatában már 115 ms-tól megfigyelhető, addig a mi kutatásunkban csak később 168-178 ms-tól jelentkezik hasonló különbség az alkalmazott képek által kiváltott frontális agyi aktivitásban. Ezen latenciacsúszás oka nem egyértelmű, azonban fontos hangsúlyoznunk, hogy egy adott feladat végzése során jelentkező eseményfüggő potenciálok amplitúdójának skalpeloszlása közel sem mutat olyan pontos képet a különböző neurális változások lokalizációjáról, mint a MEG-alapú forráslokalizáció. Ugyancsak kiemelendő, hogy az említett vizsgálattal szemben izolált objektumok helyett, komplex képeket alkalmaztunk, és így mind a kontextus elemzése, mind az alak-háttér szegregáció

önmagában elnyújthatja a kategóriára vonatkozó információk felhalmozását, befolyásolva a top-down hatások megjelenésének latenciáját. Ezen felül a térbeli frekvenciák moduláló hatásának továbbterjedése az anterior területek felé, valamint a poszterior területeken az N1 időablakában megjelenő hosszabb latencia az MTF képek esetén szintén a felülről lefelé ható folyamatok vizuális feldolgozásban betöltött szerepét tükrözheti (Pollux et al., 2011). Az MTF stimulusokra jelentkező hosszabb N1 latenciát egyesek a magnocelluláris pálya gyorsabb információszállításával magyarázzák (Craddock et al., 2015), ezen elképzelésnek azonban ellentmond, hogy a C1 és P1 idejében ezen latencia csúszások hiányoznak, mely megerősítik azt a feltevést, hogy ebben az időintervallumban már top-down folyamatok is befolyásolják az vizuális információ feldolgozását.

Az anterior területeket vizsgálva úgy tűnik, hogy ~320 ms-ig az eseményfüggő potenciálok nem különböznek egymástól mindaddig, amíg az alacsony térbeli frekvenciák jelen vannak a képekben. Bár a frontocentrális N350 idejében jelentkező amplitúdó változások összhangban vannak a korábbi vizsgálatok eredményeivel (Craddock et al., 2013), mégsem egyértelmű, hogy miért jelentkezik szignifikánsan nagyobb amplitúdó az eredeti képekre, szemben a két módosított képtípussal. Általánosan elfogadott, hogy az N350 komponens szemantikai elemzési folyamatokat, valamint tárgymodell-szelekciót tükröz (Schendan & Kutas, 2007), de Martinovic, Gruber és Müller (2008) vizsgálata alapján az ingerek komplexitására is érzékenységet mutat, hiszen nagyobb amplitúdót figyeltek meg a több belső kontúrt és részletet tartalmazó képek esetén. Elképzelhető, hogy ez a típusú komplexitást a térbeli frekvencia spektrumának mindkét végpontja befolyásolhatja, amely megmagyarázhatja az eredeti képekre jelentkező nagyobb N350-es hullámot. Fontos azonban kiemelni, hogy ez a feltevés meglehetősen spekulatív, így mindenképp további vizsgálatokat igényel.

Érdekes módon az N350 komponens még nem mutat összefüggést a viselkedési adatokkal, hiszen az amplitúdók tekintetében nem jelentkezett különbség a két módosított képtípus között, továbbá a latencia és a viselkedési adatok korrelációs mutatóinak vizsgálata sem jelzett szignifikáns hatásokat. Összességében úgy tűnik, hogy az általunk vizsgált komponensek közül csak a centroparietális területek felett jelentkező LPC amplitúdója és latenciája mutat összefüggést a viselkedési eredményekkel, hiszen szignifikánsan kisebb amplitúdó és hosszabb latencia figyelhető meg az alacsony térbeli frekvenciájú képek esetén, melyekre egyben a legrosszabb teljesítmény és a leghosszabb reakcióidő mérhető. Úgy tűnik tehát, hogy a térbeli frekvenciák módosító hatása a vizuális feldolgozás ezen késői

időablakában is megnyilvánul, hiszen az ATF stimulusokra jelentkező ERP-k markánsan különböznek az eredeti és az MTF ingerektől. Az LPC latencia értékeinek és a reakcióidő adatok között megmutatkozó közepes-erős korreláció az eredeti és a magas térbeli frekvenciájú kondíciók esetében erősíti azt a feltevést, mely szerint ezen hullám a feldolgozási folyamat utolsó mozzanatát tükrözi, egy olyan szubkomponenssel mint például a P-CR, melynek latenciájáról kimutatták, hogy a reakcióidővel párhuzamosan változik (Falkenstein et al., 1994).

Ahogy arról korábban már beszámoltunk, a különböző képalkotó eljárásokat alkalmazó vizsgálatok rámutattak a két agyfélteke között megfigyelhető asszimetriára a térbeli frekvenciák feldolgozásának tekintetében, hiszen úgy tűnik, hogy míg a bal agyfélteke a magas térbeli frekvenciájú, lokális információ feldolgozásában játszik fontosabb szerepet, addig a jobb agyfélteke az alacsony térbeli frekvenciájú, vagy globális információ feldolgozásakor involválódik leginkább (Fink et al., 1996; Heinze et al., 1998; Peyrin et al., 2004; Peyrin et al., 2005). Érdekes módon, úgy tűnik, hogy a térbeli frekvenciákra való érzékenység ezen lateralizációs hatása 150 ms-os vagy annál hosszabb bemutatási idő esetében eltűnik és nagyobb aktivitás mérhető a jobb agyfélteke fölött függetlenül attól, hogy az ingerek milyen térbeli frekvenciákat tartalmaznak (Goffaux et al., 2011; Peyrin et al., 2006). Ezen eredményekkel összhangban, vizsgálatunkban a jobb oldali parietális (P8-as elektróda) területek felett a térbeli frekvenciák moduláló hatásával összefüggő amplitúdó különbség nagyobb, mint a bal oldalon. Hasonló lateralizációs hatásokról számoltak be különböző térbeli frekvenciájú módosított arcok (Nakashima et al., 2008), valamint izolált ingerek esetén is (Craddock et al., 2015).

Összegezve tehát, a térbeli frekvenciáknak az okcipitális területek felett jelentkező, korai eseményfüggő potenciálokra gyakorolt hatása már régóta ismert (Ellemberg et al., 2001; Foxe et al., 2008; Hansen et al., 2011), továbbá a top-down folyamatok vizuális kategorizációban betöltött szerepéről több elmélet és vizsgálat is beszámolt (Bar, 2004; Bar et al., 2006), arra vonatkozóan azonban nem találtunk eredményeket, hogy az egyes eseményfüggő komponensek térbeli frekvenciákra való érzékenysége, hogyan hozható összefüggésbe a természetes, komplex ingerek kategorizációja során jelentkező top-down folyamatokkal. Kutatásunkban komplex ingerek esetén az elektroencefalográfia módszerét alkalmazva mind a skalpeloszlások, mind az eseményfüggő potenciálok amplitúdójának és latenciájának elemzése során jelentkező hatások megerősítik Bar (2003) elméletét, mely a magnocelluláris pálya által szállított információ top-down folyamatokban betöltött szerepét hangsúlyozza.

Eredményeink arra is rámutattak, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák kivonása a késői, tárgymodell-szelekciót (N350) és a főként másodlagos kategorizációs folyamatokat (LPC) (Schendan & Kutas, 2007; Schendan & Maher, 2009) tükröző komponensek amplitúdóját és latenciáját is befolyásolja, mely változások már a viselkedéses adatokkal is összefüggést mutatnak.

8 MÁSODIK VIZSGÁLAT

A TÉRBELI FREKVENCIÁKRA VALÓ ÉRZÉKENYSÉG VÁLTOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA KOMPLEX KÉPEK KATEGORIZÁCIÓJA SORÁN 7 ÉS 15 ÉVES KOR KÖZÖTT

8.1 Célkitűzések és hipotézisek

Az alábbiakban második elektrofiziológiai vizsgálatunkat ismertetjük, melynek célja annak feltárása, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák szűrése, hogyan befolyásolja a viselkedéses adatokat, illetve az idegi aktivitást 7-15 éves kor között természetes, komplex képek kategorizációja során. Az előző vizsgálatunkhoz hasonlóan, jelen esetben is állatokat, vagy járműveket ábrázoló szürkeárnyaltos eredeti képeket, valamint azok alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú módosított változatait mutattunk be, mely során a pontosság és reakcióidő, valamint a hátulsó területek felett jelentkező vizuális eseményfüggő potenciálok (P1 és N1 komponensek amplitúdója és latenciája) modulációit elemeztük. Mivel a C1 komponens számos résztvevő esetében hiányzik, vagy a csúcs azonosítása nem volt kellőképpen megbízható, a második vizsgálatunkban ezen elemzés kizárása mellett döntöttünk. A korábbi vizsgálatok eredményei alapján feltételeztük, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciákra való érzékenység fejlődése még iskoláskorban is folytatódik, azonban eltérő sebességgel és mintázattal, hiszen több eredményt találunk az M-csatorna kései érésre vonatkozóan (Adams & Courage, 2002; Barnard et al., 1998; Benedek et al., 2003, 2010). Hipotézisünk szerint ez hatás, mind a viselkedéses, mind az elektrofiziológiai komponensek változásában manifesztálódik majd, amikor a személyek a kategorizációt, főként az ATF információkra támaszkodva végzik. Ezen eredmények még inkább támogatnák az M- és P-csatorna eltérő fejlődési sebességére vonatkozó feltevést. Fontos megjegyeznünk, hogy a korábbi vizsgálatok főként mesterséges ingereket alkalmaznak és csupán a viselkedéses változókra koncentrálnak. Ahogyan azt korábban is részleteztük mindössze néhány olyan kutatást találunk, melyek az elektrofiziológiai korrelátumok vizsgálatán keresztül kísérlik meg feltárni a folyamat idegrendszeri hátterét, sőt sok esetben az eredmények ellentmondóak. Vizsgálatunk tehát hiánypótló, hiszen az általunk alkalmazott természetes képek segítségével, továbbá az elektrofiziológiai módszernek köszönhetően az

eddiginél komplexebb képek kaphatunk a folyamat neurális hátterére, a két csatorna által szállított információ vizuális kategorizációban betöltött szerepére vonatkozóan az általunk vizsgált életkorokban.

8.2 Módszerek

8.2.1 Résztvevők

A vizsgálatban 96 személy vett részt, 7 éves kortól 30 éves korig (átlagéletkor: 13,39, szórás: 6,14), akiket életkor szerint 5 csoportba osztottunk: 7-8, 9-10, 11-12, 13-15 éves tipikus fejlődésű gyermekek és felnőttek. Az életkori sávokat az előzetes szakirodalmi adatok alapján határoztuk meg, hiszen a módszertani javaslatok szerint az elektrofiziológiai vizsgálatokban gyermekkorban 1-2, serdülőkorban 2-3 éves bontásban kell a korcsoportokat megalkotnunk ahhoz, hogy pontos képet kaphassunk az egyes komponensek amplitúdóját és latenciáját illetően, továbbá az ezek mögött meghúzódó idegrendszeri folyamatok fejlődésére vonatkozóan (Taylor & Baldeweg, 2002). A teljes mintában, és az egyes korcsoportokon belül is igyekeztünk a nemek arányának kiegyenlítésére (54 lány, 42 fiú). A résztvevők egyike sem szenvedett fejlődési, pszichiátriai vagy neurológiai rendellenességben, illetve tanulási zavarban. A gyermek résztvevők két szegedi általános iskola diákjai közül kerültek ki. A vizsgálatban alkalmazott etikai eljárást a 6.1 fejezetben ismertettük. A résztvevők számát, az életkor átlagát és szórását, valamint a nemek arányát az egyes korcsoportokban az 5. táblázatban közöljük.

5. táblázat: A táblázat az elemszámot, az életkor átlagát (és szórását), valamint a nemek arányát mutatja az egyes életkori övezetekben.

Életkor	Elemszám	Életkor átlaga (szórás)	Nemek aránya
7-8	19	7,74 (0,45)	10 lány/ 9 fiú
9-10	20	9,45 (0,51)	12 lány/ 8 fiú
11-12	20	11,4 (0,5)	8 lány / 12 fiú
13-15	16	13,75 (0,77)	11 lány/ 5 fiú
Felnőttek	21	23,90 (3,48)	13 lány / 8 fiú

8.2.2 *Ingerek és kísérleti elrendezés*

A vizsgálatban alkalmazott ingereket, valamint a részletes kísérleti elrendezést a 6.2 fejezetben ismertettük.

8.2.3 *EEG regisztráció és adatelemzés*

Az EEG adatok regisztrációját, illetve az elektrofiziológiai adatok elemzésének módszertanát a 6.3 fejezetben részben már bemutattuk, így azokat nem részletezzük újra. Az ott bemutatott protokollt alkalmazva a vizsgálat sorozat ezen szakaszában az adatok 15,03%-át kellett eltávolítanunk.

A vizsgálat során a vizuális P1 és N1 komponens változásait elemeztük az okcipitális területek felett elhelyezett elektródák (O1, Oz, O2) jelét átlagolva. Jelen vizsgálatban a C1-es komponens nem elemeztük, mivel a legtöbb esetben ezen komponens nem volt látható, megbízhatóan azonosítható. A peak amplitúdókat és a latenciát ebben az esetben is az EEGLAB programcsomag ERPLAB (<http://erpinfo.org>) plug-injének segítségével mértük le. Az amplitúdók és latenciák meghatározásához az ERPLAB a megadott időablakokban (P1: 120-170 ms; N1: 170-250 ms) megkereste a legpozitívabb (P1 komponens), illetve a legnegatívabb (N1 komponens) csúcsot. Mivel elképzelhető, hogy a későbbi komponensek esetében tapasztalt hatások a korábbi komponensek hatásának az átviteléből, eltolódásából adódhatnak (ahogyan azt például Mahajan és McArthur 2012-es cikkükben kimutatták az N1 komponens amplitúdójának életkorral összefüggő modulációja kapcsán), ezért a baseline-to-peak elemzés mellett az N1 amplitúdó és latencia esetében a peak-to-peak (csúcstól csúcsig) elemzést is elvégeztük, mely során az N1 komponens amplitúdó vagy latencia értékeiből vontuk ki a P1 amplitúdó vagy latencia értékeit.

A vizsgálat sorozat jelen szakaszában azért döntöttünk az egyes csúcsok elemzése mellett, szemben a korábban részletezett pontról-pontra statisztikai elemzéssel, mert míg az előbbi alkalmas a csoportszintű hatások vizsgálatára, addig az utóbbi csak páronkénti összehasonlítások végzésére megfelelő.

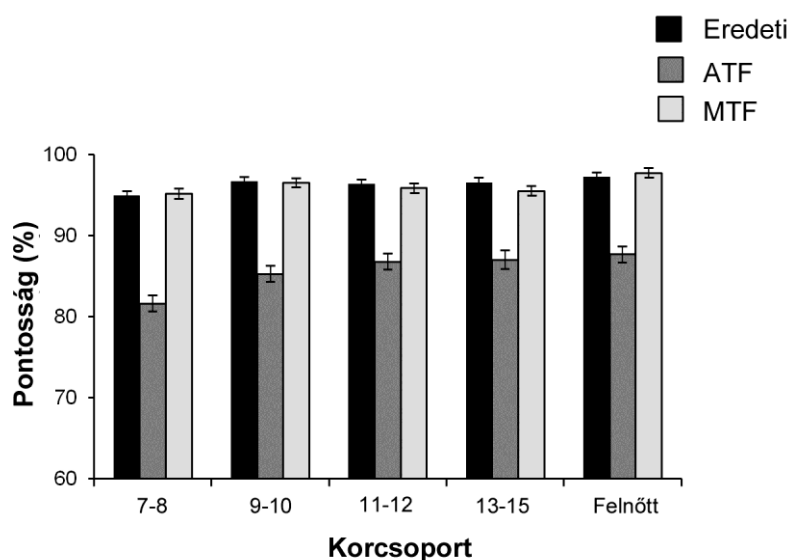
8.2.4 Statisztikai eljárás

Az életkor, valamint a térbeli frekvenciákhoz köthető változásokat ismételt méréses varianciaanalízissel (ANOVA) kíséreltük meg feltárni, melyben a KÉPTÍPUS (eredeti, ATF, MTF) összetartozó mintás változóként, a KORCSOPORT (7-8, 9-10, 11-12, 13-15 éves gyermekek és felnőttek) pedig nem összetartozó mintás változóként szerepelt. Amennyiben a KÉPTÍPUS és KORCSOPORT interakciója szignifikánsnak bizonyult, további ANOVA-kat végeztünk el. A térbeli frekvenciák módosító hatására vonatkozóan korcsoportonként külön, további ismételt méréses varianciaanalíziseket végeztünk el a KÉPTÍPUSSAL (eredeti, ATF, MTF), mint összetartozó mintás változóval. Annak vizsgálatára, hogy külön az egyes képtípusok esetében hogyan alakulnak az életkori változások további három egyszempontos varianciaanalízist futattunk le az eredeti, ATF, és MTF ingerekre az életkori övezetek alapján. A páronkénti összehasonlítások során Bonferroni post hoc tesztet alkalmaztunk. Szükség esetén Greenhouse-Geisser korrigált p értékeket, valamint megfelelő epszilon korrekciót is feltüntettük. A jelentkező hatások nagyságának demonstrálására a parciális eta négyzet (η^2) értékek is szerepelnek. Az adatok elemzése során $p < 0,05$ szignifikanciaszintet alkalmaztunk.

8.3 Eredmények

8.3.1 Viselkedéssel kapcsolatos adatok

A három képtípusra jelentkező pontosság adatok életkori változásait a 24. ábrán, illetve a 6., 7. és a 8. táblázatban prezentáljuk. A pontosság adatok elemzése során szignifikáns KÉPTÍPUS főhatást [$F(1,41, 128,354) = 620,391, \epsilon = 0,705, p < 0,001, \eta^2 = 0,872$] tapasztaltunk, hiszen a vizsgálati személyek lényegesen pontatlanabban voltak az alacsony térbeli frekvenciájú ingerek esetén, szemben a másik két képtípussal (Bonferroni-korrigált post hoc elemzés: $p < 0,001$ mindkét összehasonlítás esetében). A KORCSOPORT főhatás [$F(4, 91) = 5,559, p < 0,001, \eta^2 = 0,192$] szintén szignifikánsnak bizonyult. A páronkénti összehasonlítások rámutattak arra, hogy ezen hatás a legfiatalabb és a náluk idősebb korcsoportok szignifikánsan vagy tendenciaszinten eltérő teljesítményéből adódik (7-8 vs. 9-10 évesek: $p = 0,058$; 7-8 vs. 11-12 évesek: $p = 0,03$; 7-8 vs. 13-15 évesek: $p = 0,051$; 7-8 évesek vs. felnőttek: $p < 0,001$). Ezen felül szignifikáns KÉPTÍPUS \times KORCSOPORT interakciót [$F(5,642, 128,354) = 3,94, \epsilon = 0,705, p = 0,002; \eta^2 = 0,148$] figyeeltünk meg.



24. ábra: Az ábra az eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú képekre jelentkező pontosság (%) adatok átlagát és szórásokat mutatja az öt korcsoport esetében.

6. táblázat: A táblázat az öt korcsoportban a három képtípus esetén regisztrált pontosság (%) és reakcióidő (ms) adatok átlagait és a hozzájuk tartozó szórást mutatja.

Viselkedési adatok			
		Pontosság % (szórás)	RT ms (szórás)
7-8	Eredeti	94,908 (0,529)	803,75 (22,465)
	ATF	81,62 (0,994)	956,447 (28,394)
	MTF	95,192 (0,566)	837,776 (23,808)
9-10	Eredeti	96,706 (0,515)	751,887 (21,896)
	ATF	85,288 (0,969)	922,75 (27,675)
	MTF	96,497 (0,552)	775,963 (23,205)
11-12	Eredeti	96,372 (0,515)	695,25 (21,896)
	ATF	86,789 (0,969)	856,525 (27,675)
	MTF	95,873 (0,552)	722,4 (23,205)
13-15	Eredeti	96,507 (0,576)	647,594 (24,481)
	ATF	87,029 (1,083)	776,359 (30,941)
	MTF	95,466 (0,617)	662,141 (25,944)
Felnőttek	Eredeti	97,259 (0,503)	583,976 (21,369)
	ATF	87,695 (0,945)	752,357 (27,008)
	MTF	97,735 (0,538)	607,631 (22,646)

Az utólagos elemzések, vagyis a korcsoportonként elvégzett ismételt mérések varianciaanalízis minden csoport esetében szignifikáns KÉPTÍPUS főhatást igazolt [7-8 évesek: $F(1,334, 24,01) = 183,853$, $\varepsilon = 0,667$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,911$; 9-10 évesek: $F(1,264, 24,02) = 121,113$, $\varepsilon = 0,632$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,864$; 11-12 évesek: $F(1,472, 27,963) = 115,148$, $\varepsilon = 0,736$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,858$; 13-15 évesek: $F(2, 30) = 64,953$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,812$; felnőttek: $F(1,366, 27,329) = 172,807$, $\varepsilon = 0,683$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,896$]. A Bonferroni-korrigált páronként összevetések eredményeit az öt korcsoport esetében a 7. táblázat mutatja, szignifikánsan gyengébb kategorizációs teljesítménnyel az ATF képekre az összes csoportnál.

7. táblázat: A táblázat a képtípusok páronkénti összevetésének (Bonferroni post hoc) eredményeit mutatja a résztvevők öt csoportjában a viselkedéses adatok esetében.

Viselkedéses adatok			
		Pontosság	RT
7-8	Eredeti vs. ATF	<0,001	-
	Eredeti vs. MTF	n.s.	-
	ATF vs. MTF	<0,001	-
9-10	Eredeti vs. ATF	<0,001	-
	Eredeti vs. MTF	n.s.	-
	ATF vs. MTF	<0,001	-
11-12	Eredeti vs. ATF	<0,001	-
	Eredeti vs. MTF	n.s.	-
	ATF vs. MTF	<0,001	-
13-15	Eredeti vs. ATF	<0,001	-
	Eredeti vs. MTF	n.s.	-
	ATF vs. MTF	<0,001	-
Felnőttek	Eredeti vs. ATF	<0,001	-
	Eredeti vs. MTF	n.s.	-
	ATF vs. MTF	<0,001	-

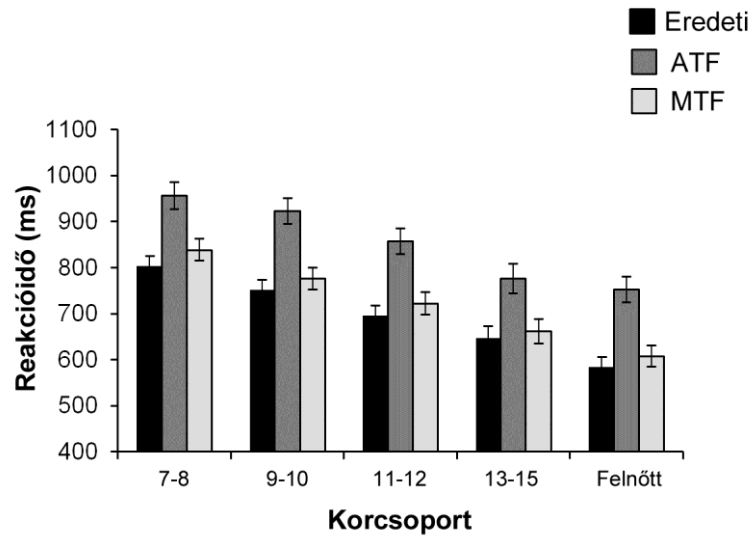
Végezetül pedig életkori hatásokat figyeltünk meg mindhárom képtípus esetében [eredeti: $F(4, 91) = 2,812$, $p = 0,03$, $\eta^2 = 0,11$; ATF: $F(4, 91) = 6,062$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,21$; MTF: $F(4, 91) = 3,371$, $p = 0,013$, $\eta^2 = 0,129$]. Ahogyan azt a 8. táblázat és a 24. ábra mutatja az

eredeti és az MTF képek esetében jelentkező fejlődési hatás mintázata nagyon hasonló, míg az ATF képeknél az életkori hatás sokkal kifejezettebb 7-12 éves kor között.

8. táblázat: A pontosság adatok elemzése során a korcsoportok Bonferroni páronkénti összehasonlításának eredményei a három képtípus esetében.

		Pontosság		
		Eredeti	ATF	MTF
7-8 vs.	9-10	n.s.	0,097	n.s.
	11-12	n.s.	0,003	n.s.
	13-15	n.s.	0,004	n.s.
	Felnőttek	0,018	< 0,001	0,015
9-10 vs.	11-12	n.s.	n.s.	n.s.
	13-15	n.s.	n.s.	n.s.
	Felnőttek	n.s.	n.s.	n.s.
11-12 vs.	13-15	n.s.	n.s.	n.s.
	Felnőttek	n.s.	n.s.	n.s.
13-15 vs.	Felnőttek	n.s.	n.s.	0,068

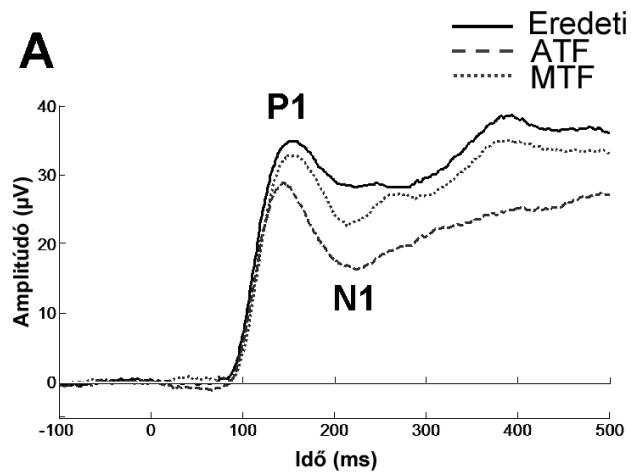
A reakcióidő adatok elemzése során az ismételt mérés varianciaanalízis szignifikáns KÉPTÍPUS főhatást [$F(1,258, 114,453) = 520,793$, $\epsilon = 0,629$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,851$] igazolt, a Bonferroni páronkénti összehasonlítások pedig rámutattak arra, hogy mindhárom általunk alkalmazott ingertípus különbözik egymástól ($p < 0,001$ mindegyik összehasonlítás esetén), hiszen a válaszadási latencia az eredeti képekre a legrövidebb, az alacsony térbeli frekvenciájú ingerek esetén pedig a leghosszabb. A reakcióidő rövidül az életkor előrehaladtával [KORCSOPORT főhatás: $F(4, 91) = 13,773$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,377$], a post hoc elemzések során pedig a nem szomszédos párok esetében a különbség szignifikánsnak bizonyult ($p < 0,019$). A KÉPTÍPUS \times KORCSOPORT interakció nem volt szignifikáns, így további elemzéseket nem végeztünk. A különböző életkorokban az általunk alkalmazott három képtípusra jelentkező reakcióidő a 25. ábrán látható, az átlagokat a 6. táblázat tartalmazza.

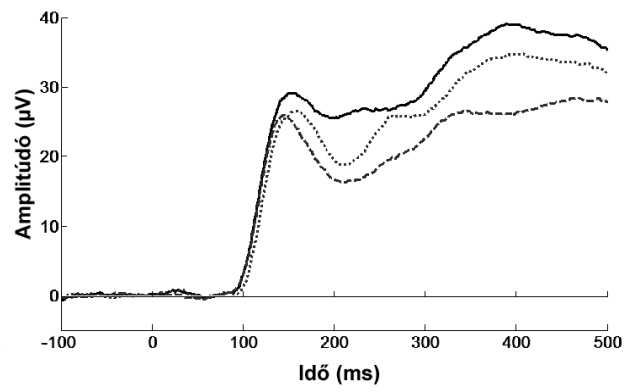
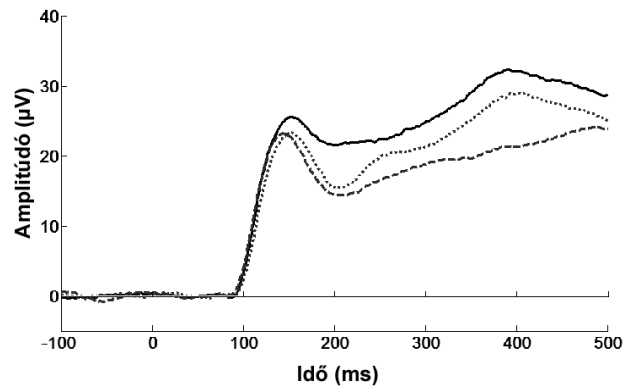
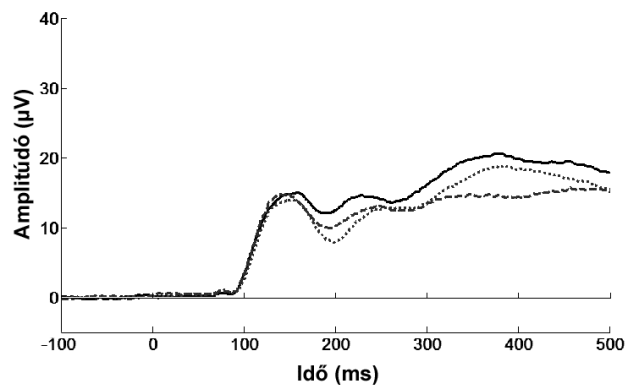


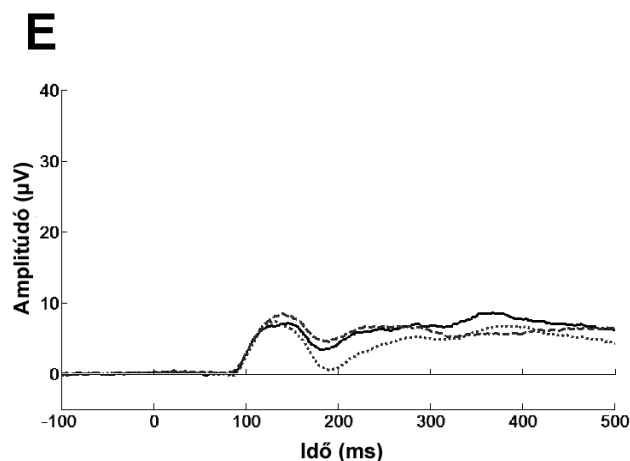
25. ábra: Az ábra az eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú képekre jelentkező reakcióidő (ms) adatok életkori változásait mutatja.

8.3.2 Elektrofiziológiai adatok

A három képtípus által kiváltott ERP-k átlagait az általunk vizsgált öt korcsoport esetén a 26. ábra mutatja.



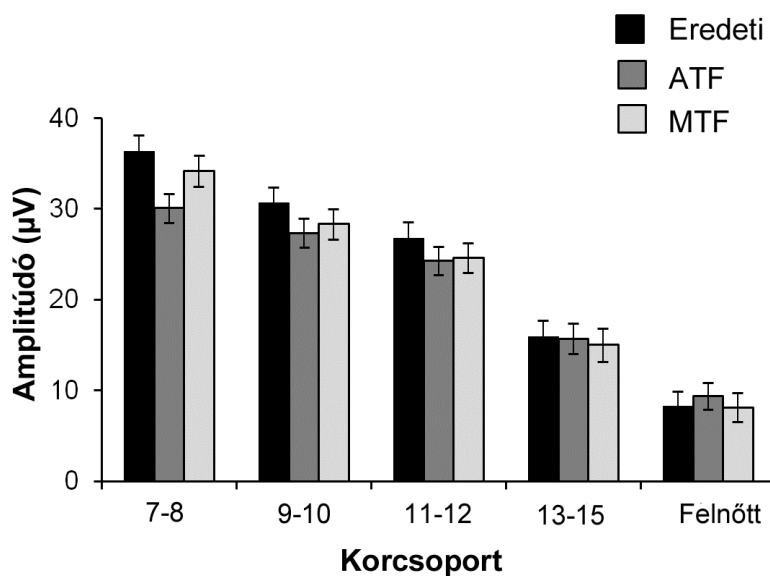
B**C****D**



26. ábra: Az ábra az eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú képekre jelentkező eseményfüggő potenciálok átlagait mutatja az öt korcsoport (A: 7-8 évesek, B: 9-10 évesek, C: 11-12 évesek, D: 13-15 évesek, E: Felnőttek) esetében, az okcipitális területek felett.

8.3.2.1 P1 komponens

A három képtípusra jelentkező P1 amplitúdó életkori változásait a 27. ábrán prezentáljuk, a P1 amplitúdó átlagokat a 9. táblázat tartalmazza. A P1 komponens amplitúdójának elemzése során szignifikáns KÉPTÍPUS főhatást [$F(1,84, 167,468) = 23,463$, $\epsilon = 0,92$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,205$] tapasztaltunk, nagyobb pozitivitással az eredeti ingerek esetén szemben a két módosított képtípussal (mindkét esetben $p < 0,001$). Fejlődési változások ugyancsak megfigyelhetők [KORCSOPORT főhatás: $F(4, 91) = 41,645$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,647$], pontosabban a P1 amplitúdója csökken az életkor előrehaladtával (a 7-8 vs. 9-10 évesek és a 9-10 vs. 11-12 évesek összevetését kivéve minden esetben $p < 0,035$). Mindemellett a KÉPTÍPUS \times KORCSOPORT közötti interakció [$F(7,361, 167,468) = 8,133$, $\epsilon = 0,92$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,263$] szintén szignifikánsnak bizonyult.



27. ábra: Az ábra az alkalmazott térbeli frekvenciák P1 amplitúdóra gyakorolt módosító hatását mutatja az öt korcsoport esetében.

9. táblázat: A táblázat az öt korcsoportban, a három képtípus esetén regisztrált P1 amplitúdók és latenciák átlagait, illetve a hozzájuk tartozó szórás értékeket mutatja.

P1 komponens			
		Amplitúdó µV (szórás)	Latencia ms (szórás)
7-8	Eredeti	36,365 (1,703)	152,652 (2,813)
	ATF	30,08 (1,568)	145,045 (2,525)
	MTF	34,179 (1,698)	155,428 (2,695)
9-10	Eredeti	30,677 (1,66)	155,274 (2,742)
	ATF	27,327 (1,528)	147,461 (2,461)
	MTF	28,33 (1,655)	155,859 (2,626)
11-12	Eredeti	26,799 (1,66)	153,711 (2,742)
	ATF	24,297 (1,528)	144,238 (2,461)
	MTF	24,587 (1,655)	151,074 (2,626)
13-15	Eredeti	15,888 (1,856)	151,001 (3,065)
	ATF	15,661 (1,709)	143,677 (2,751)
	MTF	15,02 (1,85)	148,193 (2,936)
Felnőttek	Eredeti	8,259 (1,62)	139,509 (2,676)
	ATF	9,372 (1,491)	140,067 (2,402)
	MTF	8,126 (1,615)	136,626 (2,563)

A térbeli frekvenciák módosító hatása a 7-8 [$F(2, 36) = 37,201, p < 0,001, \eta^2 = 0,674$], 9-10 [$F(2, 38) = 6,367, p = 0,004, \eta^2 = 0,251$], 11-12 [$F(2, 38) = 4,989, p = 0,012, \eta^2 = 0,208$] évesek és a felnőttek esetében volt szignifikáns [$F(2, 40) = 4,924, p = 0,012, \eta^2 = 0,198$], eltérő mintázattal a gyermek csoportoknál és felnőtteknél (27. ábra, 10. táblázat). Fontos kiemelnünk, hogy az ATF és MTF képek összehasonlítását illetően a 7-8 éves korcsoportban a P1 komponens amplitúdója a magas térbeli frekvenciájú képek esetén nagyobb, a többi gyermekcsoportban a két módosított képtípus nem különbözik egymástól, a felnőtteknél azonban a legfiatalabb csoporthoz képest ellentétes mintázat figyelhető meg, vagyis az ATF képek váltanak ki nagyobb P1 amplitúdót (27. ábra, 9. táblázat).

10. táblázat: A táblázat a képtípusok Bonferroni post hoc páronkénti összevetésének eredményeit mutatja a résztvevők öt csoportjában a P1 komponens amplitúdójának és latenciájának esetében.

		P1	
		Amplitúdó	Latencia
7-8	Eredeti vs. ATF	<0,001	0,043
	Eredeti vs. MTF	0,006	n.s.
	ATF vs. MTF	<0,001	0,001
9-10	Eredeti vs. ATF	0,01	0,001
	Eredeti vs. MTF	0,035	n.s.
	ATF vs. MTF	n.s.	0,01
11-12	Eredeti vs. ATF	0,021	0,011
	Eredeti vs. MTF	0,014	n.s.
	ATF vs. MTF	n.s.	n.s.
13-15	Eredeti vs. ATF	-	0,035
	Eredeti vs. MTF	-	n.s.
	ATF vs. MTF	-	n.s.
Felnőttek	Eredeti vs. ATF	0,065	-
	Eredeti vs. MTF	n.s.	-
	ATF vs. MTF	0,043	-

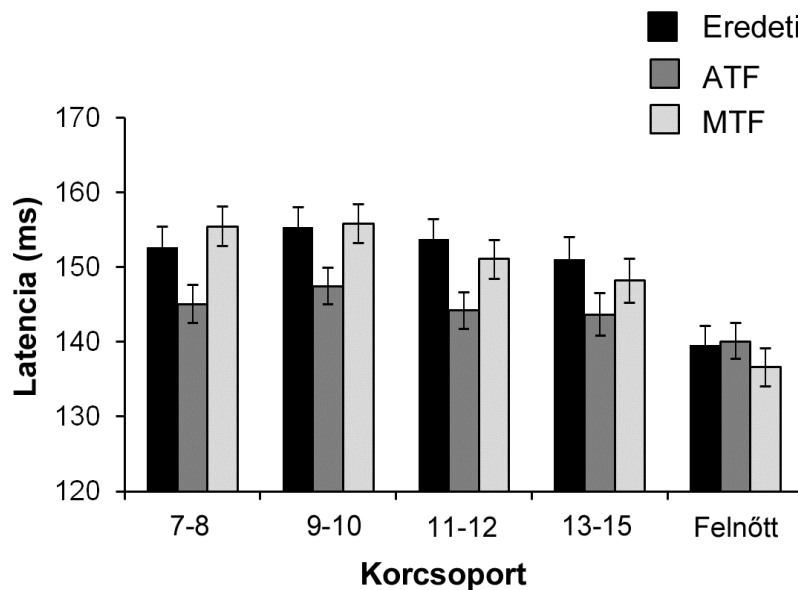
A fejlődési mintázat képtípusonkénti vizsgálatokor, mindhárom esetben szignifikáns életkorhatást figyeltünk meg [eredeti: $F(4, 91) = 46,268, p < 0,001, \eta^2 = 0,67$; ATF: $F(4, 91)$

= 31,401, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,58$; MTF: $F(4, 91) = 39,151$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,632$]. A páronkénti elemzések alapján kevésbé kifejezett a fejlődés az ATF ingerek esetén 7-12 éves korig, továbbá a két módosított képtípus esetében tendenciaszerű különbség figyelhető meg a serdülő és felnőtt csoportok összevetésekor (27. ábra, 11. táblázat).

11. táblázat: A P1 amplitúdójának elemzése során az egyes korcsoportok páronkénti összevetésének (Bonferroni post hoc) eredményei a három képtípus esetében.

		P1 amplitúdó		
		Eredeti	ATF	MTF
7-8 vs.	9-10	n.s.	n.s.	n.s.
	11-12	0,001	0,097	0,001
	13-15	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Felnőttek	< 0,001	< 0,001	< 0,001
9-10 vs.	11-12	n.s.	n.s.	n.s.
	13-15	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Felnőtt	< 0,001	< 0,001	< 0,001
11-12 vs.	13-15	< 0,001	0,003	0,002
	Felnőttek	< 0,001	< 0,001	< 0,001
13-15 vs.	Felnőttek	0,026	0,067	0,061

A következőkben elvégzett ANOVA rámutatott arra, hogy a P1 komponens latenciáját ugyancsak befolyásolja a bemutatott kép típusa [KÉPTÍPUS főhatás: $F(2, 182) = 15,286$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,144$], mely hatás a csak alacsony térbeli frekvenciájú képekre jelentkező rövidebb latenciának köszönhető (ATF vs. eredeti: $p < 0,001$; ATF vs. MTF: $p < 0,001$). A KORCSOPORT főhatás [$F(4, 91) = 7,099$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,238$] szintén szignifikánsnak bizonyult: a felnőttek esetében mért P1 latencia rövidebb összevetve a gyermekekével (7-8 évesek vs. felnőttek: $p = 0,001$, 9-10 évesek vs. felnőttek: $p < 0,001$, 11-12 évesek vs. felnőttek: $p = 0,003$, 13-15 évesek vs. felnőttek: $p = 0,054$), a fiatalabb csoportok azonban nem különböznek egymástól szignifikánsan. Végezetül pedig úgy tűnik, hogy a térbeli frekvenciák hatása változik az életkorral, melyre a szignifikáns KÉPTÍPUS \times KORCSOPORT interakció [$F(8, 182) = 2,383$, $p = 0,018$, $\eta^2 = 0,095$] mutatott rá (28. ábra). A P1 latencia átlagait a 9. táblázat mutatja.



28. ábra: Az ábrán az alkalmazott képtípusokra jelentkező P1 latencia értékeinek átlaga és a szórás látható az öt korcsoporthoz tartozó esetekben.

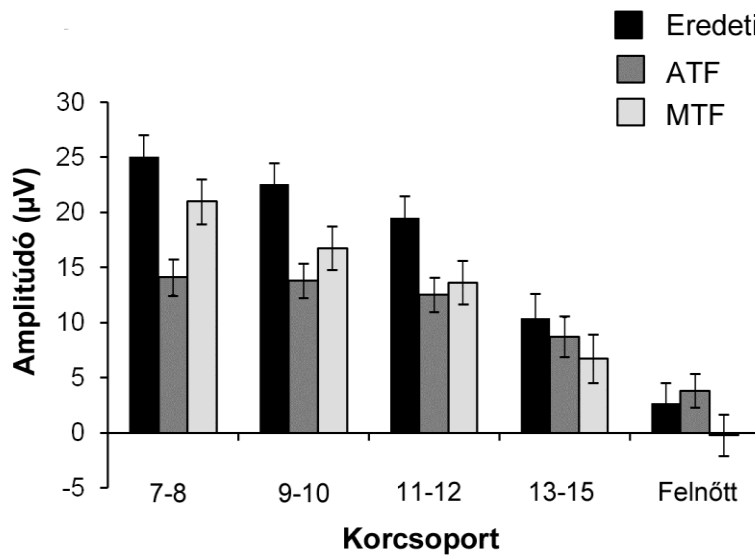
A térbeli frekvenciák módosító hatása az összes általunk vizsgált gyermek csoport esetében megnyilvánul [7-8 évesek: $F(2, 36) = 7,977$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,307$; 9-10 évesek: $F(2, 38) = 10,56$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,357$; 11-12 évesek: $F(2, 38) = 6,048$, $p = 0,005$, $\eta^2 = 0,241$; 13-15 évesek: $F(2, 30) = 3,363$, $p = 0,048$, $\eta^2 = 0,183$]. A páronként összevetések eredményei a 10. táblázatban találhatók: az alacsony térbeli frekvenciák által kiváltott latencia rövidebb az eredeti (az összes gyermekcsoport esetében), valamint a magas térbeli frekvenciájú ingerekhez képest (csak a 7-8 és a 9-10 éves csoportoknál) (28. ábra). Az egyes képtípusok esetében jelentkező életkori hatások vizsgálatakor csak az eredeti [$F(4, 91) = 5,464$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,194$] és az MTF képek [$F(4, 91) = 9,115$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,286$] esetében figyeltünk meg szignifikáns hatásokat, a felnőtt csoportnál mért rövidebb latenciákkal (9. és 12. táblázat, 28. ábra).

12. táblázat: Az egyes korcsoportok esetén jelentkező P1 latencia páronkénti összevetésének eredményei a három képtípus esetében.

		P1 latencia		
		Eredeti	ATF	MTF
7-8 vs.	9-10	n.s.	n.s.	n.s.
	11-12	n.s.	n.s.	n.s.
	13-15	n.s.	n.s.	n.s.
	Felnőttek	0,011	n.s.	< 0,001
9-10 vs.	11-12	n.s.	n.s.	n.s.
	13-15	n.s.	n.s.	n.s.
	Felnőttek	0,001	n.s.	< 0,001
11-12 vs.	13-15	n.s.	n.s.	n.s.
	Felnőttek	0,004	n.s.	0,002
13-15 vs.	Felnőttek	0,058	n.s.	0,038

8.3.2.2 N1 komponens

Az N1 komponens amplitúdójának baseline-to-peak elemzése során a statisztikai elemzések szignifikáns KÉPTÍPUS főhatást [$F(1,657, 150,789) = 103,679$, $\varepsilon = 0,829$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,533$] igazoltak, hiszen az eredeti képek kisebb N1 amplitúdót váltanak ki, mint az ATF vagy MTF ingerek (mindkét esetben a $p < 0,001$). Fejlődési hatások ezen esetben is megfigyelhetők [KORCSOPORT főhatás: $F(4, 91) = 17,307$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,432$]: a felnőtteknél regisztrált N1 amplitúdó negatívabb, mint a 12 éves és annál fiatalabb gyermekcsoportoké (minden páronkénti összehasonlítás esetében a $p < 0,001$), továbbá a 13-15 éves csoport értékei szignifikánsan különböznek a 9-10 ($p = 0,009$) és 7-8 éves ($p < 0,001$) gyermekektől. A KÉPTÍPUS \times KORCSOPORT interakciója [$F(6,628, 150,789) = 19,012$, $\varepsilon = 0,829$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,455$] ugyancsak szignifikánsnak bizonyult. Az N1 komponens amplitúdójának életkori változását az egyes képtípusok esetén a baseline-to-peak elemzés során a 29. ábra mutatja, az átlagok a 13. táblázatban szerepelnek.



29. ábra: Az ábrán az alkalmazott térbeli frekvenciák N1 amplitúdóra gyakorolt módosító hatása látható az öt korcsoport esetében.

13. táblázat: A táblázat az öt korcsoportban a három képtípus esetén regisztrált N1 amplitúdók (µV) és latenciák (ms) átlagait és a hozzájuk tartozó szórást mutatja.

N1 komponens			
		Amplitúdó µV (szórás)	Latencia ms (szórás)
7-8	Eredeti	25,055 (1,99)	219,778 (5,086)
	ATF	14,115 (1,611)	221,114 (4,194)
	MTF	20,981 (2,015)	216,386 (3,679)
9-10	Eredeti	22,538 (1,94)	208,008 (4,957)
	ATF	13,825 (1,57)	213,184 (4,088)
	MTF	16,714 (1,964)	212,012 (3,586)
11-12	Eredeti	19,484 (1,94)	205,957 (4,957)
	ATF	12,534 (1,57)	208,692 (4,088)
	MTF	13,615 (1,964)	205,273 (3,586)
13-15	Eredeti	10,363 (2,169)	195,312 (5,542)
	ATF	8,673 (1,756)	195,435 (4,57)
	MTF	6,728 (2,196)	200,317 (4,009)
Felnőttek	Eredeti	2,63 (1,893)	195,778 (4,838)
	ATF	3,779 (1,533)	194,196 (3,989)
	MTF	-0,243 (1,917)	192,987 (3,5)

Az egyes térbeli frekvenciák moduláló hatása minden korcsoport esetében szignifikánsnak mutatkozott [7-8 évesek: $F(1,377, 24,791) = 29,6$, $\varepsilon = 0,689$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,622$; 9-10 évesek: $F(2, 38) = 47,105$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,713$; 11-12 évesek: $F(2, 38) = 50,661$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,727$; 13-15 évesek: $F(2, 30) = 20,484$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,577$; felnőttek: $F(2, 40) = 41,074$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,673$]. Az N1 amplitúdó alacsony és magas térbeli frekvenciákra való érzékenysége vonatkozóan eltérő mintázat figyelhető meg a különböző életkorokban, hiszen 10 éves korig az alacsony térbeli frekvenciák váltanak ki nagyobb N1 amplitúdót, a 11-12 éves korcsoportnál nincs különbség az ATF és MTF képtípusok között, míg a 13-15 éves gyermekeknél és a felnőtteknél a magas térbeli frekvenciájú ingerekre regisztrálható nagyobb negativitás (13. és 14. táblázat, 29. ábra).

14. táblázat: A táblázat a képtípusok Bonferroni post hoc páronkénti összevetésének eredményeit mutatja a résztvevők öt csoportjában a N1 komponens baseline-to-peak amplitúdójának és latenciájának esetében.

		N1 baseline-to-peak	
		Amplitúdó	Latencia
7-8	Eredeti vs. ATF	< 0,001	-
	Eredeti vs. MTF	0,001	-
	ATF vs. MTF	0,004	-
9-10	Eredeti vs. ATF	< 0,001	-
	Eredeti vs. MTF	< 0,001	-
	ATF vs. MTF	0,039	-
11-12	Eredeti vs. ATF	< 0,001	-
	Eredeti vs. MTF	< 0,001	-
	ATF vs. MTF	n.s.	-
13-15	Eredeti vs. ATF	0,072	-
	Eredeti vs. MTF	< 0,001	-
	ATF vs. MTF	0,02	-
Felnőttek	Eredeti vs. ATF	0,063	-
	ATF vs. MTF	< 0,001	-
	ATF vs. MTF	< 0,001	-

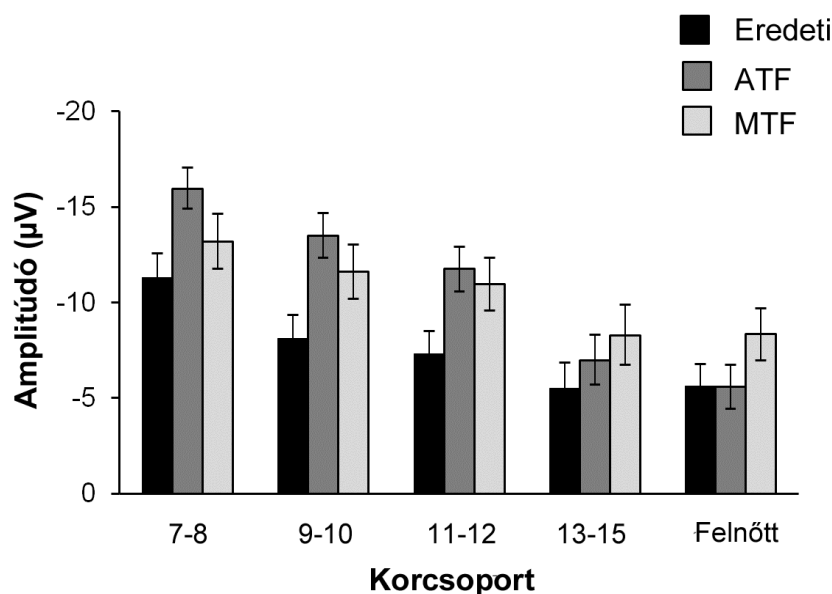
Mindhárom képtípus esetében az amplitúdó változik az életkor előrehaladtával [eredeti: $F(4, 91) = 22,977$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,502$; ATF: $F(4, 91) = 7,877$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,257$;

MTF: $F(4, 91) = 18,144$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,444$]. Ahogyan a 29. ábrán is látható kevésbé kifejezett fejlődés figyelhető meg 7-15 éves kor között az ATF ingerek esetén, szemben az eredeti és MTF képekkel (15. táblázat).

15. táblázat: Az N1 baseline-to-peak amplitúdójának elemzése során a korcsoportok Bonferroni-korrigált páronkénti összehasonlításának eredményei a három képtípus esetében.

N1 amplitúdó baseline-to-peak				
		Eredeti	ATF	MTF
7-8 vs.	9-10	n.s.	n.s.	n.s.
	11-12	n.s.	n.s.	n.s.
	13-15	< 0,001	n.s.	< 0,001
	Felnőttek	< 0,001	< 0,001	< 0,001
9-10 vs.	11-12	n.s.	n.s.	n.s.
	13-15	0,001	n.s.	0,01
	Felnőttek	< 0,001	< 0,001	< 0,001
11-12 vs.	13-15	0,023	n.s.	n.s.
	Felnőttek	< 0,001	0,001	< 0,001
13-15 vs.	Felnőttek	0,086	n.s.	n.s.

Az N1 amplitúdó peak-to-peak elemzése a képtípus módosító hatását illetően nagyon hasonló eredményeket hozott, mint a baseline-to-peak elemzés esetében tapasztaltak, hiszen a KÉPTÍPUS főhatás [$F(1,873, 170,455) = 40,960$, $\varepsilon = 0,937$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,310$] ebben az esetben is szignifikánsnak bizonyult, szignifikáns különbséggel az eredeti és ATF, valamint az eredeti és MTF párok összevetése során (mindkét esetben $p < 0,001$). A KORCSOPORT főhatás [$F(4, 91) = 6,076$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,211$] ugyancsak szignifikáns, fontos azonban kiemelnünk, hogy míg a baseline-to-peak elemzés során az életkor előrehaladtával az N1 amplitúdó növekedése tapasztalható, addig a peak-to-peak elemzés az N1 amplitúdó csökkenésére mutat rá (30. ábra), szignifikáns különbséggel a 7-8 és 13-15 éves csoportok között ($p = 0,003$), valamint a 7-8 éves gyermekek és felnőttek esetében ($p < 0,001$). Mivel szignifikáns KÉPTÍPUS \times KORCSOPORT interakciót [$F(7,493, 170,455) = 5,098$, $\varepsilon = 0,937$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,183$] figyeltünk meg ezért az N1 peak-to-peak amplitúdó esetében is további elemzések váltak indokolttá.



30. ábra: Az ábrán a három képtípusra jelentkező N1 peak-to-peak amplitúdók átlaga és a szórás láthatók az öt korcsoport esetében.

Az egyes térbeli frekvenciák szűrésének hatása minden korcsoport esetében szignifikáns (7-8 évesek: $F(2, 36) = 6,205$, $p = 0,005$, $\eta^2 = 0,256$; 9-10 évesek: $F(1,332, 25,303) = 15,983$, $\varepsilon = 0,666$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,457$; 11-12 évesek: $F(2, 38) = 24,685$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,565$; 13-15 évesek: $F(2, 30) = 9,731$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,393$; felnőttek: $F(2, 40) = 24,195$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,547$). Az N1 baseline-to-peak elemzéshez hasonlóan az ATF és MTF képeket illetően fordított mintázat figyelhető meg a 7-8 éveseknél és felnőttkorban, fontos azonban megjegyeznünk, hogy a páronkénti összevetések csak a felnőttek esetében mutattak szignifikáns különbséget a két módosított képtípus között ($p < 0,001$) (30. ábra, 16. táblázat).

16. táblázat: A táblázat a képtípusok Bonferroni post hoc páronkénti összevetésének eredményeit mutatja a résztvevők öt csoportjában a N1 komponens peak-to-peak amplitúdójának és latenciájának esetében.

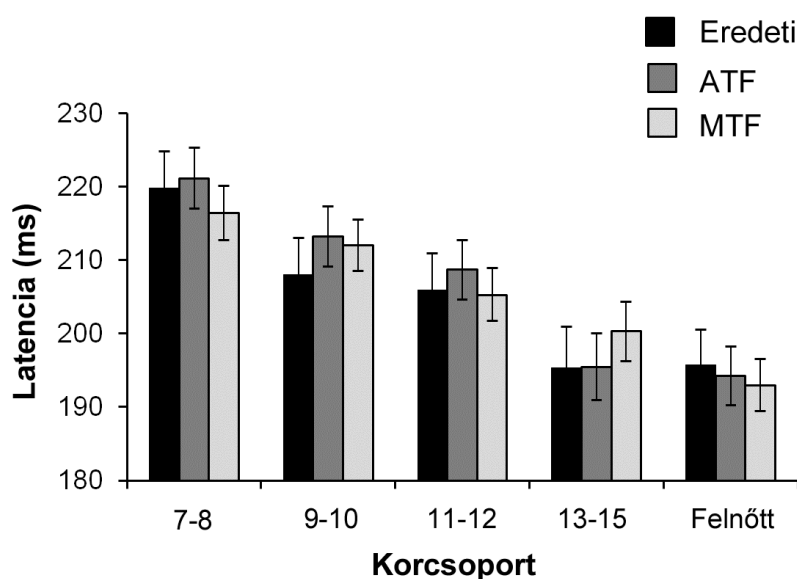
		N1	
		Amplitúdó	Latencia
7-8	Eredeti vs. ATF	0,015	-
	Eredeti vs. MTF	n.s.	-
	ATF vs. MTF	n.s.	-
9-10	Eredeti vs. ATF	< 0,001	-
	Eredeti vs. MTF	0,008	-
	ATF vs. MTF	n.s.	-
11-12	Eredeti vs. ATF	< 0,001	-
	Eredeti vs. MTF	< 0,001	-
	ATF vs. MTF	n.s.	-
13-15	Eredeti vs. ATF	0,052	-
	Eredeti vs. MTF	0,003	-
	ATF vs. MTF	n.s.	-
Felnőttek	Eredeti vs. ATF	n.s.	-
	ATF vs. MTF	< 0,001	-
	ATF vs. MTF	< 0,001	-

Az egyes ingertípusok esetében jelentkező életkori változások vizsgálatakor szignifikáns KORCSOPORT főhatást csak az eredeti [$F(4, 91) = 3,668, p = 0,008, \eta^2 = 0,139$] és alacsony térbeli frekvenciájú képek [$F(4, 91) = 13,737, p < 0,001, \eta^2 = 0,376$] esetében találtunk. A post hoc elemzések rámutattak arra, hogy az ATF képeknél a 7-10 éves gyermekek esetében jelentkező amplitúdó szignifikánsan különbözik a felnőttekétől, továbbá a 13-15 éves serdülőcsoport a többi (7-12 éves) gyermekcsoporttól. Az eredeti képek esetében a korcsoportkülönbségek kevésbé kifejezettek, hiszen ebben az esetben csak a 7-8 vs. 13-15 évesek, valamint a 7-8 évesek és felnőttek összevetésekor tapasztalható szignifikáns különbség (17. táblázat). Észre kell vennünk, hogy ezen eredmények éles ellentétben állnak a baseline-to-peak elemzés esetében tapasztaltakkal, hiszen, míg ott az MTF képek esetében robusztusabb fejlődési hatás volt tapasztalható (legalábbis az ATF képekhez viszonyítva), addig a peak-to-peak elemzés során a magas térbeli frekvenciájú módosított ingereknel nem figyelhető meg életkorral összefüggő hatás.

17. táblázat: Az N1 peak-to-peak amplitúdójának elemzése során a korcsoportok Bonferroni-korrigált páronkénti összehasonlításának eredményei a három képtípus esetében.

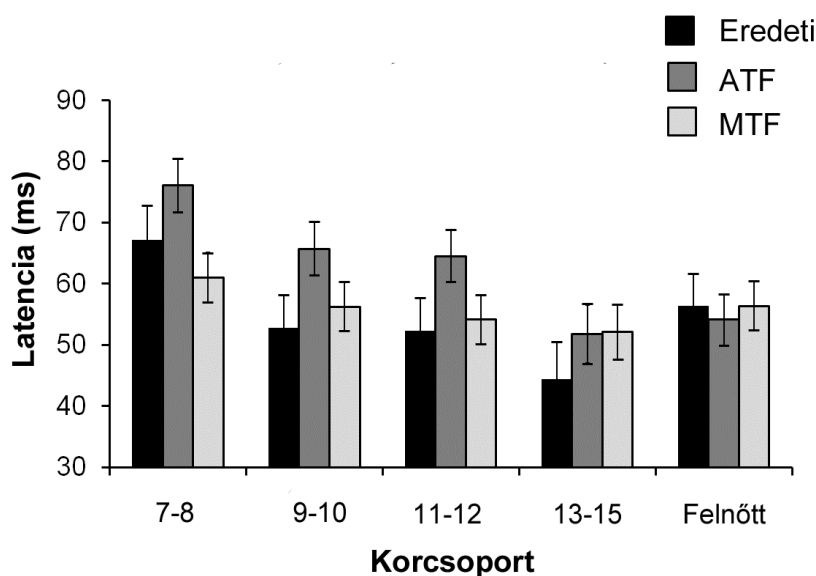
		N1 peak-to-peak amplitúdó		
		Eredeti	ATF	MTF
7-8 vs.	9-10	n.s.	n.s.	-
	11-12	n.s.	n.s.	-
	13-15	0,02	< 0,001	-
	Felnőtt	0,012	< 0,001	-
9-10 vs.	11-12	n.s.	n.s.	-
	13-15	n.s.	0,003	-
	Felnőtt	n.s.	< 0,001	-
11-12 vs.	13-15	n.s.	0,072	-
	Felnőtt	n.s.	0,002	-
13-15 vs.	Felnőtt	n.s.	n.s.	-

A statisztikai elemzések rámutattak arra, hogy az N1 komponens latenciája változik az életkorral [KORCSOPORT főhatás: $F(4, 91) = 7,951$, $p < 0,001$, $\eta p^2 = 0,259$]. Ahogyan az a 31. ábrán is látható az N1 latencia csökken az életkorral, szignifikáns különbség azonban csak a 7-8 vs. 13-15 évesek ($p = 0,001$), 7-8 évesek vs. felnőttek ($p < 0,001$) és a 9-10 évesek vs. felnőttek ($p = 0,01$) páronkénti összehasonlítása során jelentkezett. A KÉPTÍPUS főhatás és a KÉPTÍPUS \times KORCSOPORT interakció nem szignifikáns.



31. ábra: Az ábrán az eredeti, ATF és MTF képek N1 baseline-to-peak latenciára gyakorolt módosító hatása látható az öt korcsoport esetében.

Végül pedig az N1 peak-to-peak latencia szintén csökken az életkor előrehaladtával [KORCSOPORT főhatás: $F(4, 91) = 3,063$, $p = 0,020$, $\eta^2 = 0,119$], a post hoc elemzések során azonban az egyetlen szignifikáns különbség csak a 7-8 és 13-15 éves korcsoportok összehasonlításakor mutatkozott ($p = 0,011$). A KÉPTÍPUS főhatás ugyancsak szignifikánsnak bizonyult [$F(2, 182) = 6,799$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,070$], ami az eredeti és MTF képekhez képest hosszabb ATF ingerekre jelentkező latenciából adódik (ATF vs. eredeti: $p = 0,003$; ATF vs. MTF: $p = 0,016$). Bár a KÉPTÍPUS \times KORCSOPORT interakció nem szignifikáns [$F(8, 182) = 1,537$, $p = 0,147$, $\eta^2 = 0,063$], fontos észrevennünk, hogy az ATF képekre hosszabb latencia csak 7-12 éves kor között jelentkezik (32. ábra).



32. ábra: Az ábrán az eredeti, ATF és MTF képek esetén regisztrált N1 peak-to-peak latenciák átlaga és a szórás láthatók az öt korcsoport esetében.

8.4 A második vizsgálat eredményeinek megvitatása

Jelen kutatás célja annak vizsgálata, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák hogyan modulálják a viselkedéses változókat és az idegi aktivitást 7 és 15 éves kor között egy vizuális kategorizációs feladat végzése közben. Az utóbbi évtizedben számos kutatás kimutatta, hogy a magnocelluláris és parvocelluláris csatornák, az alacsony és magas térbeli frekvenciák feldolgozásának vizsgálatakor a viselkedéses mutatók és elektrofiziológiai korrelátumok esetében egyaránt megfigyelhetők életkori változások még kisgyermekkor után

is. Az eredmények azonban korántsem egyértelműek, hiszen, mind a viselkedéses, mind az EEG adatok tekintetében találunk ellentmondásokat. Mivel az eddigi vizsgálatokban kizárólag mesterséges ingereket alkalmaztak (például: szinuszos rácsmintázatok, vagy sakktábla mintázatok), nem ismert, hogy iskoláskor alatt hogyan változnak az alacsony és magas térbeli frekvenciákra érzékeny vizuális ERP-k akkor, amikor a személynek olyan komplex képek kategorizációját kell végezniük, amelyeken az objektumok természetes környezetükben szerepelnek.

8.4.1 Az életkor és a térbeli frekvenciák hatása a viselkedéses változókra

Jelentős életkori hatásokat tapasztaltunk, mind a pontosság, mind a reakcióidő esetében az életkor előrehaladtával, pontosabban mindkét mutató esetében jobb teljesítmény figyelhető a felnőtt csoportban. Míg a reakcióidő fokozatos csökkenése tapasztalható az életkor előrehaladtával, a pontosság tekintetében egy hirtelen teljesítményjavulás figyelhető még 7-8 évek kor után. Bár ez a gyorsulás a szakirodalom alapján a motoros rendszer fejlődésével is összefüggésbe hozható (Kail, 1993), azonban ahogyan azt a későbbiekben részletezzük, a kategorizációs folyamatokhoz kapcsolódó elektrofiziológiai korrelátumok tekintetében szintén tapasztalhatók életkorral összefüggő változások. Összességében ezen eredmények összhangban vannak a korábban ismertetett go/no go feladatban végzett állat-nem állat kategorizációt alkalmazó vizsgálat eredményeivel, melyben eredeti képeket alkalmaztak (Batty & Taylor, 2002), illetve azon tanulmány eredményeivel, melyben arcok feldolgozását vizsgálták (Itier & Taylor, 2004).

A térbeli frekvenciák módosító hatását illetően az ATF képek kategorizálását a személyek pontatlanabban és lassabban végezték szemben az eredeti vagy MTF képekkel és ez a hatás minden korcsoport esetében megfigyelhető volt, mely arra utal, hogy a csak alacsony térbeli frekvenciákat tartalmazó ingerek kategorizációja nehezebb volt. Ezen hatások összecsengenek az előző fejezetben bemutatott vizsgálatunk eredményeivel, illetve azon korábbi vizsgálatokban tapasztalt hatásokkal, melyek viszonylag hosszú ingerbemutatósi időt alkalmaznak (Bar et al., 2006; Craddock et al., 2013, 2015). A reakcióidő esetében nem, csak a pontosságnál figyeltünk meg szignifikáns interakciót a képtípus és korcsoport között, mely főként abból adódik, hogy az ATF képek esetében meredekebb fejlődési mintázat, vagyis kifejezettebb javulás tapasztalható 7 és 12 éves kor között, mint a másik képtípusnál. Ezen eredményt pedig támogatja a magnocelluláris csatorna, az alacsony térbeli frekvenciájú

információ feldolgozásának kései fejlődését. Ennek ellenére úgy gondoljuk, hogy a kategorizáció pontosság mutatójának értelmezésekor óvatosnak kell lennünk, hiszen nem csak kizárólag a magnocelluláris és parvocelluláris csatornák működését, az alacsony és magas térbeli frekvenciákra való érzékenység életkori változását tükrözheti. A természetes komplex képek kategorizációja úgy tűnik, hogy olyan nem-vizuális áreákra is támaszkodik, mint például a prefrontális kérgi területek (Freedman et al., 2001; Ganis et al., 2007; Thorpe & Fabre-Thorpe, 2001). Egy általunk sokat hivatkozott, a tárgyfelismerés igen befolyásos modellje szerint a korai vizuális területekről az inger durva, AFT reprezentációja a prefrontális kéregbe jut, ahol a lehetséges tárgyak reprezentációi aktiválódnak, mely a poszterior területekre visszajutva top-down módon segíti az ingerek azonosítását (Bar, 2003; Kveraga, Ghuman & Bar, 2007b). Ennek megfelelően az ATF képek pontosság mutatói esetében tapasztalt életkori változások ugyanúgy tulajdoníthatók az M-pálya éretlenségének, mint a kérgi területek magnocelluláris információra való csökkent érzékenységének, a frontális területek fejletlenségének, vagy akár a gyenge top-down hatásoknak, melyek a fehérállományi éretlenségből adódhatnak, vagy akár abból, hogy okcipitotemporális területek még kevésbé érzékenyek az ilyen típusú feedback jelekre. Ahogyan a 2.1 fejezetben is részleteztük gyermek- és serdülőkorban több agyi régió esetében is tapasztalható életkori változás, így a nem-vizuális területeken tapasztalt fejlődési hatásokat is figyelembe kell vennünk, amikor a viselkedéses eredményeket értelmezzük (Giedd et al., 1999; Gogtay et al., 2004; Nagy et al., 2004; Perrin et al., 2009).

Fontos megjegyeznünk, hogy bár a viselkedéses pilot vizsgálatban bemutatott képek jellemzői, módosítása részben eltér az elektrofiziológiai vizsgálatban alkalmazottaktól a 5. fejezetben hasonló hatásokról számoltunk be.

8.4.2 Az életkor hatása az eseményfüggő potenciálokra

A P1 amplitúdó elemzésekor csökkenést tapasztaltunk az életkor előrehaladásával, mely eredmény összhangban van a szakirodalomban olvasható adatokkal eredeti képek esetén (Batty & Taylor, 2002; Itier & Taylor, 2004; Mahajan & McArthur, 2012; Peters et al., 2013; van den Boomen et al., 2015). Bár az N1 amplitúdó baseline-to-peak elemzése az értékek növekedését mutatta az életkor előrehaladtával, mégis úgy tűnik, hogy ez sokkal inkább a P1 csúcson tapasztalt hatás átviteléből eredhet, ahogyan a szakirodalomban mások is javasolják (Mahajan & McArthur, 2012), hiszen az N1 amplitúdó peak-to-peak elemzését követően

eltérő mintázatot figyeltünk meg, pontosabban az életkorral összefüggő amplitúdó csökkenést tapasztaltunk, hasonlóan van den Boomen és munkatársaihoz (2015) fekete-fehér rácsmintázatok bemutatása során. Általánosságban az eseményfüggő potenciálok amplitúdójának életkori változása a szürkeállomány térfogatváltozásával, a szinaptikus pruning-gal hozható összefüggésbe, emellett különböző funkcionális faktorok, kognitív folyamatok változásának mutatói számszathatnak szerepet (Segalowitz et al., 2010).

8.4.3 A térbeli frekvenciák hatása az eseményfüggő potenciálokra

Tudomásunk szerint ez az első olyan vizsgálat, mely több korcsoport bevonásával ellentétes mintázatot mutatott ki a P1 és N1 komponensek térbeli frekvenciákra való érzékenységet illetően kisiskolás korú gyermekeknél, összevetve a felnőttekkel. A P1 komponens esetében hasonló hatásról (vagyis fordított mintázatról) számoltak be Boeschoten és munkatársai (2007) a P1 esetében, vizsgálatukban azonban csak 9-10 éves korú gyermekek vettek részt. A vizuális P1 komponens a felnőttek bevonásával végzett vizsgálatokban hagyományosan az ATF információ feldolgozásával hozzák összefüggésbe (pl.: Hansen et al., 2011), eredményeink azonban arra utalnak, hogy szemben a felnőttekkel, az iskoláskor elején a P1 sokkal inkább az inger részleteinek, lokális jellemzőinek elemzésével hozható összefüggésbe, és az életkor előrehaladtával válik fokozatosan egyre érzékenyebbé az alacsony térbeli frekvenciájú, globális információra. Erre a mintázatra tekinthetünk, mint egyfajta eltolódásra a magas térbeli frekvenciáktól az alacsony térbeli frekvenciák felé. Ezen eredmény a pontosság adatokhoz hasonlóan az alacsony térbeli frekvenciák feldolgozásának kései érését támogatják.

Érdekes módon az alacsony térbeli frekvenciájú képekre jelentkező P1 latencia esetében nem tapasztaltunk változást az életkor növekedésével, mely eredmény arra utalhat, hogy az M-csatorna mielinizációja 7 éves korra jórészt befejeződik. Ezzel szemben az MTF képekre jelentkező P1 latencia eltér a gyermekek és felnőttek összevetésekor, mely a P-csatorna kései mielinizációját jelezheti. Ezzel összhangban Peters és munkatársai (2013) szintén a gyermek csoport (9-10 év) esetében tapasztaltak hosszabb latenciát az ATF arcokra szemben az MTF ingerekre, vizsgálatukban azonban eredeti képek is rövidebb latenciát idéztek elő.

Peters és munkatársai (2013) az arcfeldolgozás fejlődésére vonatkozó EEG vizsgálatukban nagyobb P1 amplitúdót tapasztaltak a fordított arcok esetén szemben az egyenes állásúakkal a gyermek (9-10 év) és serdülő (14-15 év) csoportok esetében, mely

hatást mind az ATF, mind az MTF ingerek bemutatásánál jelen volt. Felnőttek esetében az előbb említett hatás egyik ingertípusnál sem figyelhető meg. Ezen eredmények szintén alátámasztják azt az elképzelést, mely szerint az alacsony és magas térbeli frekvenciákra való érzékenység a P1 időintervallumban késő gyermekkorig, felnőttkorig változhat.

Ahogy az előző vizsgálatunk során beszámoltunk róla, felnőtteknél nagyobb N1 amplitúdó figyelhető meg MTF ingerek bemutatása során (7. fejezet), mely összhangban van a szakirodalomban található adatokkal is (Craddock et al., 2013, 2015) és támogatják azt a nézetet, mely szerint az N1 a finom, részletek alapján történő diszkriminációs folyamatokkal hozható összefüggésbe (Hopf et al., 2002; Vogel & Luck, 2000). A P1 amplitúdóhoz hasonlóan azonban ezen komponens esetében is ellentétes mintázat figyelhető meg, hiszen elemzéseink alapján gyermekkorban a ATF képekre figyelhető meg nagyobb amplitúdó, szemben a felnőttek csoportjával, ahol az MTF képek váltanak ki nagyobb negatívítást. Ezen eredmények arra utalhatnak, hogy a magas térbeli frekvenciák, vagyis a lokális jellemzők neurális feldolgozásában szintén tapasztalhatók életkori hatások iskoláskor alatt, mely eredmények összhangban vannak van den Boomen és munkatársainak (2015) eredményeivel.

Az N1 komponenst a korábbi vizsgálatok nem csak a képek lokális jellemzőinek feldolgozásával hozzák összefüggésbe, hanem a top-down hatásokkal is (mint például a feladattal kapcsolatos elvárás), melyek facilitálhatják, vagyis segíthetik az adott objektum azonosítását (Hopf et al., 2002; Melloni, Schwiedrzik, Müller, Rodriguez, & Singer, 2011; Schendan & Lucia, 2010). Ahogy azt a korábbi fejezetekben már említettük, úgy tűnik, hogy az ATF információk gyors továbbjutása a prefrontális kérgi területek felé, a tárgy lehetséges reprezentációinak aktiválásán keresztül modulálják az MTF típusú információ elemzését (Bar, 2003; Kveraga et al., 2007b). E tekintetben, elképzelhető, hogy vizsgálatunkban az N1 paramétereinél tapasztalt életkori változások az ATF-alapú top-down hatások fejlődését is mutatják. Ezen ATF-alapú top-down hatások fejlődését leginkább az N1 peak-to-peak latenciánál tapasztalt mintázat mutatja, hiszen csak az alacsony térbeli frekvenciák által kiváltott latencia értékek csökkennek az életkor előrehaladtával. Ez a hatás azonban nem magyarázható az M-pálya mielinizációjával, hiszen hasonló életkorral járó latenciarövidülést a P1 komponens esetében nem tapasztaltunk. Bár a statisztikai elemzések szerint a képtípus főhatás szignifikáns, vagyis hosszabb latencia figyelhető meg az ATF ingerek esetében, fontos kiemelnünk, hogy ahogyan az a 32. ábrán is látható, ez a hatás csak 7-12 éves kor között tapasztalható, azonban hiányzik a 13-15 éves serdülők, illetve a felnőttek esetében. Mivel a durva, alacsony térbeli frekvenciájú információ által kiváltott rövidebb N1

latencia felnőttek esetében úgy tűnik, hogy top-down hatásokat tükröz (7. fejezet), így az életkorral összefüggő, az ATF képekre jelentkező N1 latencia rövidülése a kortikális „visszacsatoló rendszer” fejlődéseként is értelmezhető (e.g., prefrontális kéreg, az egyes kortikális kapcsolatok; Giedd et al., 1999; Nagy et al., 2004; Perrin et al., 2009). Az N1 peak-to-peak latenciánál tapasztalt eredmények szintén összefügghetnek az alacsony térbeli frekvenciájú képek egyre növekvő pontossági teljesítményével 7 és 12 éves kor között.

Az elektrofiziológiai korrelátumok tekintetében tapasztalt eltérő mintázat gyermek és felnőttkorban akár az eltérő startégiákra is utalhatnak, vagyis egy ilyen típusú feladat során elképzelhető, hogy a gyermekek sokkal inkább a lokális ingerekre fókuszálnak szemben a felnőttekkel. Kiemeljük azonban, hogy ezen feltevés nagyon spekulatív.

A disszertáció ezen szakaszában elektrofiziológiai bizonyítékokat mutattunk be, mind az alacsony, mind a magas térbeli frekvenciák kérgi feldolgozásánakérésére vonatkozóan késő gyermekkorban és serdülőkorban. Természetes komplex képek kategorizációjához kapcsolódó eseményfüggő komponensek elemzése alapján a P1 és N1 hullámok amplitúdójának térbeli frekvenciákra való érzékenysége fordított mintázatot mutat az általunk vizsgálat legfiatalabb, 7-8 éves korcsoport esetében összevetve a felnőttekkel. A vizuális kategorizáció idegrendszeri hátterére, és az agy fejlődésére vonatkozó szakirodalmi adatok, illetve a vizsgálatunkban tapasztalt életkorral és térbeli frekvenciákkal összefüggő ERP változások alapján úgy gondoljuk, hogy sem a viselkedéses, sem az egyes komponensek változásai sem mutatják kizárólag az M- és P-csatornákérését, ezért az ATF és MTF feldolgozás fejlődésére vonatkozó adatok értelmezésekor körültekintőnek kell lennünk. A viselkedéses és EEG adatok alapján úgy gondoljuk, hogy sokkal inkább arról lehet szó, hogy iskoláskorban mind az alacsony, mind a magas térbeli frekvenciák kérgi feldolgozása fejlődik és ezt számos tényező befolyásolja beleértve (de nem kizárólag) a kéregalatti látópályákérését, vagy a vizuális input feldolgozását az okcipitotemporális régióban. Elképzelhető, hogy a pontosság esetében az alacsony térbeli frekvenciákra tapasztalt jelentősebb javulás az ATF információ feldolgozásának fejlődése mellett a top-down hatásokérésének is köszönhető, melyre az ATF N1 peak-to-peak latencia életkorral összefüggő változásából következtettünk. Vizsgálatunk fő eredményének tekinthető, hogy sikerült kimutatnunk a P1 és N1 komponensek a különböző térbeli frekvenciákra való érzékenységének fokozatos eltolódását az életkor előrehaladtával. Korábbi kutatásokkal szemben vizsgálatssorozatunkban komplex képeket alkalmaztunk, mely magyarázhatja azt, hogy korábban miért nem mutatott még ki

senki ilyen mintázatot a korai eletrofiziológiai korrelátumok tekintetében, ez pedig tovább erősíti a folyamat komplexitására vonatkozó feltevésünket.

Ahogy az a következő vizsgálatunkban is szemléltetjük az alacsony és magas térbeli frekvenciák fejlődésével kapcsolatos elektrofiziológiai markerek vizsgálata és azonosítása nem csak a tipikus fejlődés szempontjából, hanem az atipikus fejlődés vizsgálata szempontjából is fontos lehet.

9 HARMADIK VIZSGÁLAT

ALACSONY ÉS MAGAS TÉRBELI FREKVENCIÁJÚ INFORMÁCIÓK FELDOLGOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA DISZLEXIÁS ÉS TIPIKUS FEJLŐDÉSŰ GYERMEKEK KÖRÉBEN

9.1 Célkitűzések és hipotézisek

Elektrofiziológiai vizsgálatssorozatunk ezen szakaszában azt vizsgáltjuk, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák kivonása hogyan módosítja a pontosságot és a reakcióidőt, valamint az okcipitális területek felett jelentkező korai vizuális komponensek (P1 és N1) amplitúdóját és latenciáját diszlexiás és tipikus fejlődésű gyermekek csoportjában. Arra a kérdésre keressük a választ, hogy vajon van-e különbség a két csoport között, és ha igen, milyen frekvenciatartományban. Számos eredmény igazolta a vizuális rendszer, azon belül is magnocelluláris/dorzális rendszer érintettségét fejlődési diszlexiában (Demb et al., 1998a; Demb et al., 1998b; Eden et al., 1996; Gori et al., 2016; Hansen et al., 2001; Livingstone et al., 1991), az eredmények azonban korántsem egyértelműek, hiszen olyan vizsgálatokat is olvashatunk, melynek cáfolják az M-rendszer szelektív sérülését (Amitay et al., 2002; Farrag et al., 2002; Johannes et al., 1996; Sperling et al., 2005; Tsermentseli et al., 2008). Kutatásunkban mi is a vizuális feldolgozásban esetlegesen megjelenő deficit feltérképezését kíséreljük meg, hiszen az általunk alkalmazott komplex módosított képek segítségével választ kaphatunk arra a kérdésre, hogy vajon valóban a magnocelluláris sejtek szelektív sérülése jellemzi-e a diszlexiásokat, vagy sokkal inkább egy általános, mindkét csatornát érintő deficit húzódik meg a háttérben. Hipotézisünk szerint a diszlexiás gyermekek gyengébb teljesítményt mutatnak majd a csak alacsony térbeli frekvenciákat tartalmazó képek kategorizációja során, mely főként a pontatlanabb kategorizációban mutatkozik meg. Feltételezzük továbbá, hogy a magnocelluláris pálya éretlensége az elektrofiziológiai változók tekintetében, főként a P1 komponens eltéréseiben megnyilvánul meg. Tudomásunk szerint a diszlexia magnocelluláris deficitjére vonatkozó vizsgálatokban sem alkalmaztak még az általunk használt ingerekhez hasonlóakat, így vizsgálatunk mindenképp érdekes és hiánypótló eredményeket hozhat.

9.2 Módszerek

9.2.1 Résztvevők

Harmadik vizsgálatunkban 30 fő 9-14 éves gyermek vett részt. A vizsgálat sorozat ezen szakaszában 15 fő diszlexiás gyermeket (átlagéletkor: 12, szórás: 1,732, 12 jobbkezes) vontunk be, akikhez a tipikus fejlődésű kontrollcsoportot (átlagéletkor: 11,667, szórás: 1,496, 15 jobbkezes) az előző vizsgálatban résztvevő gyermekek közül nem, kor, illetve osztályfok szerint illesztettünk. A diszlexiás és tipikus fejlődésű gyermekek három szegedi általános iskolából kerültek a mintába. A diszlexiás résztvevők a Csongrád Megyei Pedagógiai Szakszolgálat Megyei Szakértői Bizottságának rutin vizsgálata alapján diszlexiásnak diagnosztizáltak. A diszlexiás gyermekek mindegyike fejlesztésben vesz részt. A kontrollcsoport egyik tagja sem szenvedett semmilyen fejlődési, pszichiátriai, neurológiai rendellenességben, vagy tanulási zavarban. A kutatás során sajnos nem állt módunkban a gyermekek intelligenciájának vizsgálata, így a Séra és munkatársai (2010) vizsgálatában alkalmazott eljárás mellett döntöttünk. A diszlexiás gyermekek 80%-ának (12 fő) állt rendelkezésre intelligenciájára vonatkozó adatok (WISC-IV, Raven), mely alapján a csoport átlaga: 101,273 (szórás: 16,721). A szakértői vélemények három gyermek esetben nem tartalmaztak számszerűsített intelligenciahányadost, a szöveges jellemzés alapján azonban ezen gyermekek intelligenciaszintje az átlagos övezetben jelölhető. Azon diszlexiás gyermekeknek, akiknek nem áll rendelkezésünkre számszerűsített IQ pontszám (3 fő), illetve a tipikus fejlődésű kontrollcsoportban szereplők tanulmányi átlaga legalább 3,5 volt.

Ezen vizsgálatban is a 6.1 fejezetben bemutatott etikai eljárást alkalmaztuk.

9.2.2 Ingerek és kísérleti elrendezés

A vizsgálatban alkalmazott ingereket, valamint a részletes kísérleti elrendezést a 6.2 fejezetben ismertettük.

9.2.3 EEG regisztráció és adatelemzés

Az EEG adatok regisztrációját, illetve az elektrofiziológiai adatok elemzésének módszertanát a 6.3 fejezetben részben már bemutattuk, így azokat nem részletezzük újra. Az

ott ismertetett protokollt alkalmazva jelen vizsgálatunkban az adatok 18,23%-át távolítottuk el.

Harmadik vizsgálatunkban az előzőhöz hasonlóan a vizuális P1 és N1 komponensek amplitúdójának és latenciájának változásait elemeztük az okcipitális területek felett elhelyezett elektródák (O1, Oz, O2) jelét átlagolva. A C1-es komponens változásait jelen vizsgálatban sem elemeztük. A peak amplitúdókat és a latenciát ebben az esetben is az EEGLAB programcsomag ERPLAB (<http://erpinfo.org>) plug-injének segítségével mértük le. Az amplitúdók és latenciák meghatározásához az ERPLAB a megadott időablakokban (P1: 120-170 ms; N1: 170-250 ms) megkereste a legpozitívabb (P1 komponens), illetve a legnegatívabb (N1 komponens) csúcsot.

A csúcsok elemzése mellett az első elektrofiziológiai vizsgálatban (7. fejezetben) már alkalmazott pontról-pontra permutációs analízist is használtuk az egyes képtípusokra (eredeti, ATF, MTF) jelentkező amplitúdók csoportonkénti összevetésére az okcipitális régióban.

9.2.4 Statisztikai eljárás

A diszlexiás és kontrollcsoport közötti, valamint a térbeli frekvenciákhoz köthető változásokat ismételt mérések varianciaanalízissel kíséreltük meg feltérképezni, amelyben a KÉPTÍPUS (eredeti, ATF, MTF) összetartozó mintás változó, a CSOPORT (diszlexiás és kontrollcsoport) pedig nem összetartozó mintás változó volt. A páronkénti összehasonlítások során Bonferroni post hoc tesztet alkalmaztunk. Amennyiben a KÉPTÍPUS és CSOPORT interakciója szignifikánsnak bizonyult, további ANOVA-t végeztünk el, csoportonként az egyes képtípusok módosító hatására vonatkozóan. Emellett további kétmintás t-próbákat végeztünk el képtípusonként a csoportok összevetésére. Szükség esetén Greenhouse-Geisser korrigált p értékek, valamint megfelelő epszilon korrekció is szerepelnek. A jelentkező hatások nagyságának demonstrálására a parciális eta négyzet (η^2) értékeket is feltüntettük.

Az előző vizsgálatunk rámutatott arra, hogy a korai komponensek esetében mind amplitúdóban, mind latenciában nagy életkori változások figyelhetők meg az egyes korcsoportok között, 7-től 15 éves korig. Mivel a vizsgálat ezen szakaszán, a két csoportban 9-14 éves gyermekek szerepelnek, az egyes csoportokon belül a személyek között nagy különbségek lehetnek. Annak érdekében, hogy ezt kiegyenlítsük, személyenként normalizáltuk a kondíciók közötti relatív különbségeket úgy, hogy arányokat számoltunk (eredeti/ATF, eredeti/MTF, ATF/MTF), majd kétmintás t-próbák segítségével megvizsgáltuk,

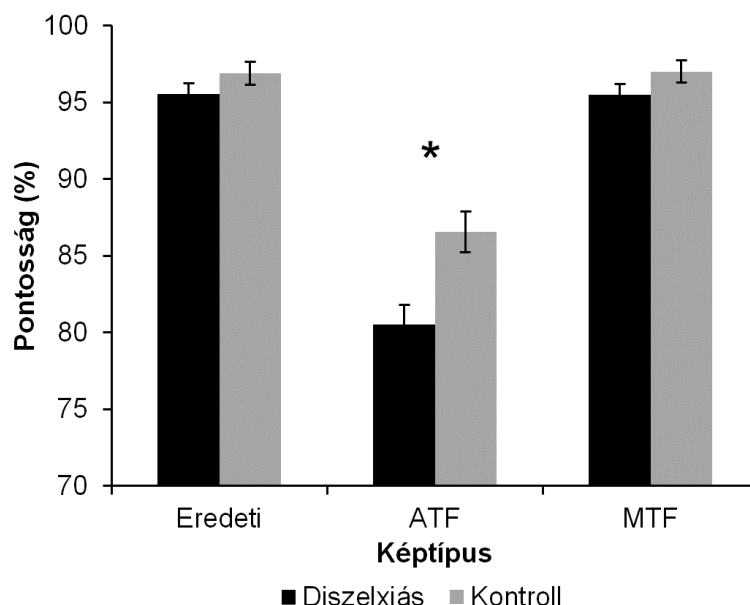
hogy ezen arányok mennyiben térnek el a két csoport esetén. Az adatok elemzése során $p < 0,05$ szignifikanciaszintet alkalmaztunk.

Ebben az esetben is az EEG adatok amplitúdójának elemzéséhez alkalmazott pontról-pontra elemzéseket az EEGLAB-be programozott statisztikai elemző segítségével végeztük, 0,01-es szignifikanciaszint mellett, permutációs elemzést alkalmazva (Blair & Karniski, 1993).

9.3 Eredmények

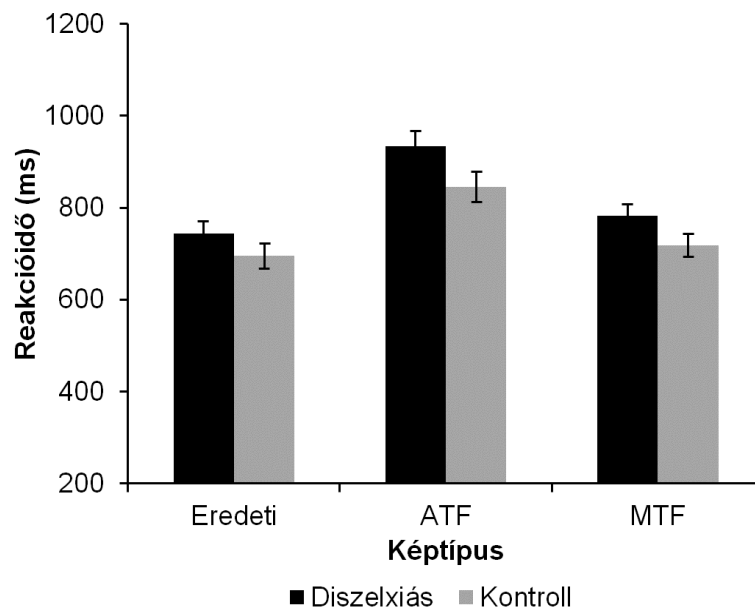
9.3.1 Viselkedéses adatok

A pontosság elemzésekor szignifikáns képtípus főhatást találtunk [$F(1,547, 43,312) = 234,682$, $\varepsilon = 0,773$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,893$], ami abból adódik, hogy a résztvevők szignifikánsan pontatlanabban teljesítettek az alacsony térbeli frekvenciájú képek kategorizációja során, szemben a másik két képtípussal (Bonferroni post hoc elemzés: $p < 0,001$). A CSOPORT főhatásunk szintén szignifikáns [$F(1, 28) = 7,2$, $p = 0,012$, $\eta^2 = 0,205$], pontosabban a diszlexiás csoport kevesebbszer nyomta meg a megfelelő válaszgombot. Fontos azonban, hogy mindezekon felül szignifikáns KÉPTÍPUS \times CSOPORT interakciót tapasztaltunk [$F(1,547, 43,312) = 7,732$, $\varepsilon = 0,773$, $p = 0,003$, $\eta^2 = 0,216$], és a további páronkénti összevetések rámutatnak arra, hogy a pontosság tekintetében csak az alacsony térbeli frekvenciájú képek esetében teljesítenek pontatlanabban a diszlexiás gyermekek a tipikus fejlődési csoporthoz képest [$t(28) = -3,256$, $p = 0,003$]. Az eredeti [$t(28) = -1,353$, $p = 0,187$] és MTF [$t(28) = -1,510$, $p = 0,142$] képtípus esetében a két csoport nem különbözik egymástól szignifikánsan. A két csoport pontosság adatait a 33. ábra szemlélteti.



33. ábra: Az ábra a diszlexiás és tipikus fejlődésű kontrollcsoport pontosság adatainak átlagát és a szórást mutatja az eredeti, ATF és MTF képtípusokra. A csillag a páronkénti összevetés során jelentkező szignifikáns különbséget jelzi.

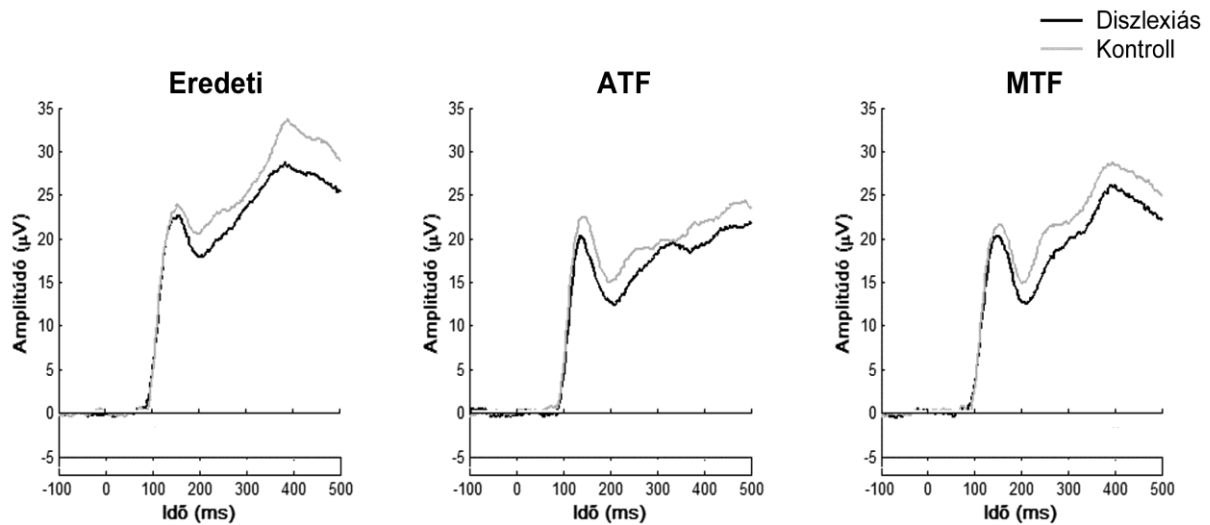
A reakcióidő esetében a KÉPTÍPUS főhatás szintén szignifikánsnak bizonyult [$F(1,250, 35,012) = 124,599$, $\varepsilon = 0,625$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,817$]. A Bonferroni post hoc elemzés rámutatott arra, hogy mindhárom képtípusra mért reakcióidő különbözik egymástól, pontosabban ($p < 0,001$), a legrövidebb válaszadási latencia az eredeti képekre jelentkezett, a leghosszabbat pedig az alacsony térbeli frekvenciákat tartalmazó képek bemutatása során regisztráltunk. A reakcióidő elemzése során a CSOPORT főhatás csak tendencia szintű [$F(1, 28) = 3,067$, $p < 0,091$, $\eta^2 = 0,099$], vagyis bár a diszlexiás gyermekek valamivel lassabban végezték az állatokat és járműveket ábrázoló képek kategorizációját, a különbség nem szignifikáns. A KÉPTÍPUS \times CSOPORT interakció szintén nem szignifikáns [$F(1,250, 35,012) = 1,493$, $\varepsilon = 0,625$, $p = 235$, $\eta^2 = 0,51$]. A diszlexiás és kontrollcsoport reakcióidő adatait a 34. ábrán mutatjuk.



34. ábra: Az ábrán a diszlexiás és tipikus fejlődésű kontrollcsoport reakcióidő adatainak átlaga és a szórás látható az eredeti, ATF és MTF képtípusokra.

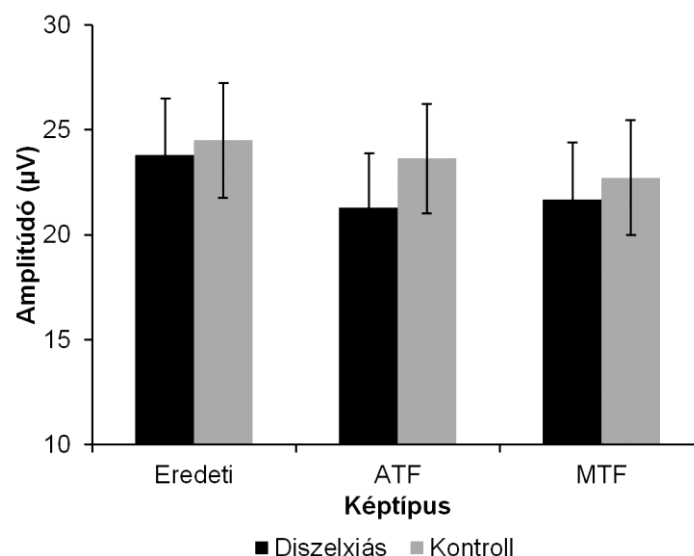
9.3.2 Elektrofiziológiai adatok

A három képtípus által kiváltott ERP-k átlagait a diszlexiás és a tipikus fejlődésű kontrollcsoport esetén, valamint a pontról-pontra statisztika eredményeit a 35. ábra mutatja. Jól látható, hogy a pontról-pontra elemzés a diszlexiás és kontrollcsoport képtípusokénti összevetésekor az általunk vizsgált okcipitális elektródákon nem mutat szignifikáns eltérést. Fontos azonban kiemelni, hogy bár a hatás nem szignifikáns a P1 komponens időintervallumában a két csoportban jelentkező eseményfüggő potenciálok tekintetében nagyobb különbség figyelhető meg az ATF képek esetében, mint az eredeti, vagy MTF képeknél, és ez a mintázat hasonló a pontosság adatoknál tapasztaltakhoz.



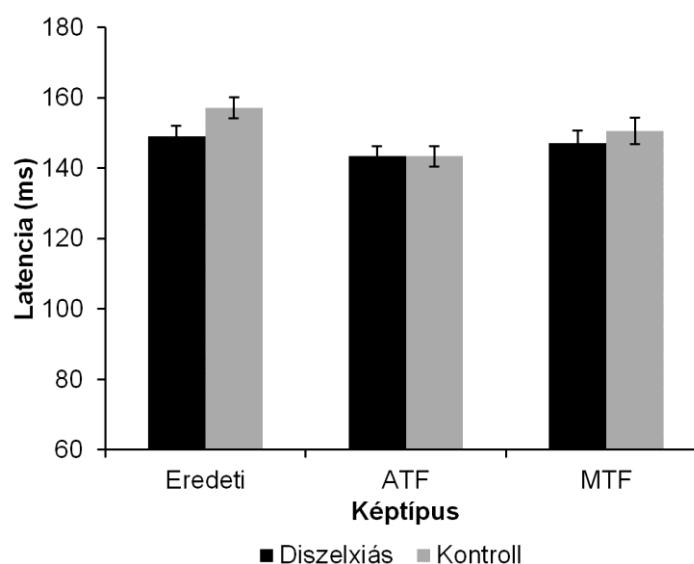
35. ábra: Az ábra az eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú képekre jelentkező eseményfüggő potenciálok átlagait mutatja a diszlexiás és a kontrollcsoportban. A pontról-pontra elemzés egyik esetben sem igazolt szignifikáns különbséget a két csoport között.

A P1 amplitúdó esetében szignifikáns KÉPTÍPUS főhatást tapasztaltunk [$F(1,53, 42,853) = 3,811$, $\epsilon = 0,765$, $p = 0,041$, $\eta^2 = 0,12$], mely abból adódik, hogy az MTF képek szignifikánsan kisebb amplitúdót váltanak ki, mint az eredeti képek ($p = 0,004$). Bár sem a CSOPORT főhatás [$F(1, 28) = 0,137$, $p = 0,714$, $\eta^2 = 0,005$], sem a KÉPTÍPUS \times CSOPORT interakció [$F(1,53, 42,853) = 0,629$, $\epsilon = 0,765$, $p = 0,497$, $\eta^2 = 0,022$] nem bizonyult szignifikánsnak a 36. ábrán látható, hogy az alacsony térbeli frekvenciájú képek által kiváltott amplitúdók esetében nagyobb különbség figyelhető meg a két csoport között, mint a másik két képtípusnál.



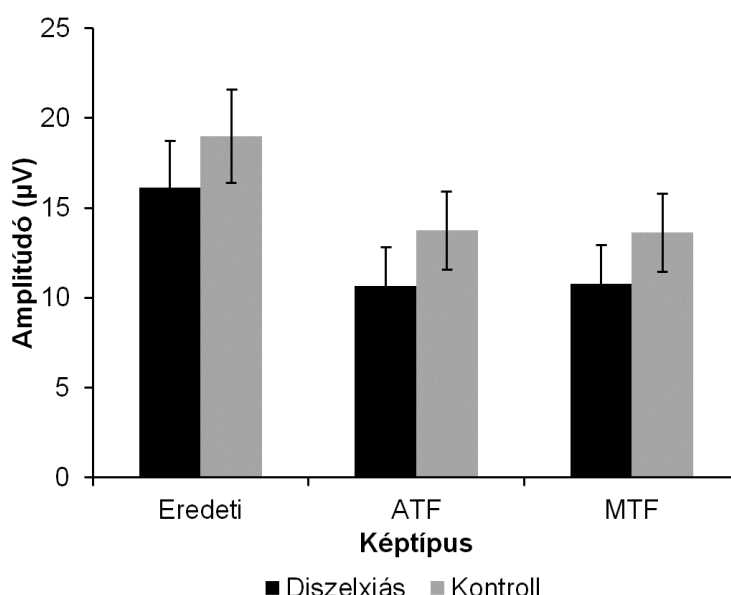
36. ábra: Az ábrán az eredeti, alacsony és magas térbeli frekvenciájú képek által kiváltott P1 amplitúdó átlaga és a szórás látható a két csoportban.

A P1 latencia vizsgálatakor a KÉPTÍPUS főhatás szignifikáns [$F(2, 56) = 6,168$, $p = 0,004$, $\eta^2 = 0,181$], a Bonferroni post hoc elemzés alapján az ATF képekre rövidebb latencia figyelhető meg, mint az eredeti képekre ($p = 0,004$). A CSOPORT főhatás [$F(1, 28) = 1,448$, $p = 0,239$, $\eta^2 = 0,049$], valamint a KÉPTÍPUS \times CSOPORT interakció [$F(2, 56) = 1,105$, $p = 0,338$, $\eta^2 = 0,038$] ebben az esetben sem szignifikáns. Az általunk alkalmazott képtípusok által kiváltott P1 latenciák átlaga a 37. ábrán látható.



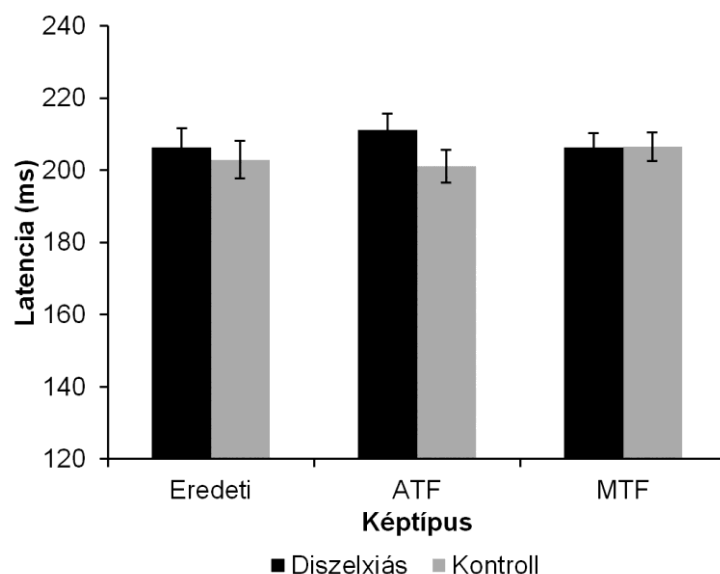
37. ábra: Az ábrán az eredeti, ATF és MTF ingerek által kiváltott P1 latenciák átlaga és a szórás látható a diszlexiás és kontrollcsoportban.

A KÉPTÍPUS főhatás [$F(1,6, 44,791) = 25,702$, $\varepsilon = 0,8$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,479$] az N1 amplitúdó esetében ugyancsak szignifikánsnak mutatkozott, a Bonferroni páronkénti összevetések alapján pedig a módosított képekre jelentkező amplitúdók nem különböznek egymástól, azonban szignifikánsan negatívabbak, mint az eredeti képeknél regisztráltak (mintkét összehasonlításnál $p < 0,001$). Szignifikáns CSOPORT főhatást [$F(1, 28) = 0,886$, $p = 0,355$, $\eta^2 = 0,031$], valamint szignifikáns KÉPTÍPUS \times CSOPORT interakciót [$F(1,6, 44,791) = 0,013$, $\varepsilon = 0,8$, $p = 0,987$, $\eta^2 = 0,000$] itt sem találtunk. Az alkalmazott térbeli frekvenciák N1 amplitúdóra gyakorolt hatását a két csoportban a 38. ábrán szemléltejük.



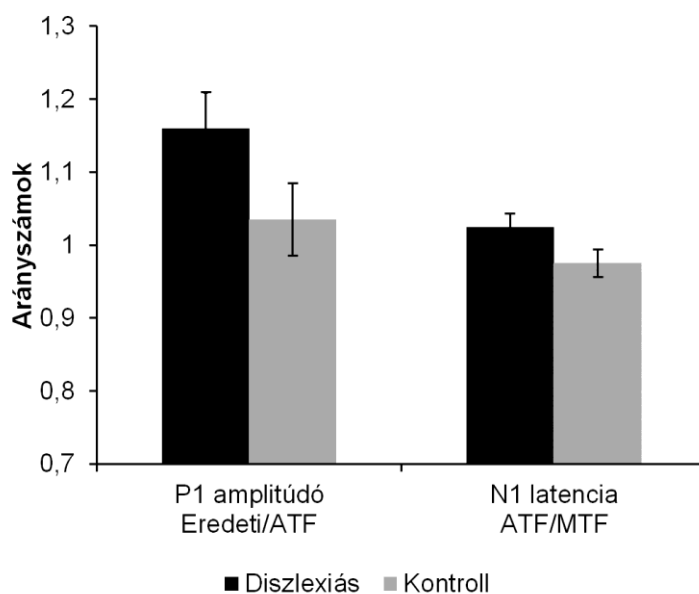
38. ábra: Az ábra az alkalmazott képtípusok által kiváltott N1 amplitúdó átlagát és a szórást mutatja a két csoportban.

Az N1 latenciájának elemzésekor sem a KÉPTÍPUS [$F(2, 56) = 0,212$, $p = 0,809$, $\eta^2 = 0,008$] és CSOPORT főhatás [$F(1, 28) = 0,656$, $p = 0,425$, $\eta^2 = 0,023$], sem a KÉPTÍPUS \times CSOPORT interakció [$F(2, 56) = 1,524$, $p = 0,227$, $\eta^2 = 0,052$] nem bizonyult szignifikánsnak. Fontos kiemelnünk, hogy ahogyan az a 39. ábrán is látható az alacsony térbeli frekvenciájú képek esetében nagyobb különbség figyelhető meg a két csoport között, mint az eredeti és MTF ingereknél.



39. ábra: Az ábra az eredeti ATF és MTF képekre jelentkező N1 latencia átlagát és a szórást mutatja a diszlexiás és kontrollcsoportban.

Az egyes képtípusok arányának csoportonkénti összevetésére elvégzett kétmintás t-próba a P1 amplitúdó eredeti/ATF arányok [$t(28) = 1,735$, $p = 0,094$], illetve az N1 latencia ATF/MTF arányok [$t(28) = 1,796$, $p = 0,083$] esetében mutatott tendencia szintű eltérést. Ez alapján a diszlexiás csoportnál nagyobb különbség figyelhető meg az eredeti és ATF képek által kiváltott P1 amplitúdó (36. és 40. ábra), valamint az ATF és MTF ingerekre jelentkező N1 latencia (39. és 40. ábra) esetében.



40. ábra: Az ábra a személyek közötti különbségek normalizálására irányuló elemzésünk eredményét mutatja a P1 amplitúdó és N1 latencia esetében.

9.4 A harmadik vizsgálat eredményeinek a megvitatása

Harmadik vizsgálatunk célja annak feltérképezése, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák kivonása hogyan befolyásolja a viselkedéses változókat, valamint az okcipitális területek felett jelentkező korai vizuális komponensek paramétereit állat-jármű kategorizációs feladat végzése közben, diszlexiás és tipikus fejlődésű gyermekek csoportjában. Célunk annak vizsgálata, hogy vajon van-e különbség a két csoport között, és ha igen, milyen frekvencia-tartományban. A diszlexiások vizuális feldolgozására vonatkozó vizsgálatok eredményei nagy változatosságot mutatnak, hiszen egyesek a magnocelluláris/dorzális rendszer deficitjét feltételezik (Demb et al., 1998a, 1998b; Eden et al., 1996; Gori et al., 2016; Hansen et al., 2001; Lehmkuhle et al., 1993; Livingstone et al., 1991; Talcott et al., 1998), vannak olyan eredmények melyek alapján mindkét pálya működése gyengébb (Séra et al., 2010), de olyan vizsgálatokkal is találkozhatunk melyek a parvocelluláris pálya sérülésére utalnak (Farrag et al., 2002), mások azonban nem igazoltak semmilyen eltérést (Johannes et al., 1996; Tsermentseli et al., 2008).

A viselkedéses mutatók tekintetében az előző vizsgálatokhoz hasonló mintázatot tapasztaltunk, vagyis az ATF ingerek esetében a vizsgálatban résztvevő gyermekek szignifikánsan pontatlanabbak és lassabbak voltak az eredeti, valamint az MTF képekhez képest. A magas térbeli frekvenciájú képek azonban, csak a reakcióidő tekintetében különböznek az eredeti képektől. Összességben tehát, mindkét csoport esetében az eredeti képekhez viszonyítva a csak alacsony térbeli frekvenciákat tartalmazó ingerek kategorizációja szignifikánsan nehezebb volt, mint azoké, amelyek finom részleteket tartalmaznak (MTF képek).

A statisztikai elemzés alapján a diszlexiások szignifikánsan pontatlanabban teljesítenek kontrollesoporthoz viszonyítva, a további elemzések azonban rámutattak arra, hogy ez abból adódik, hogy a diszlexiás személyek az ATF képek esetében gyengébben teljesítenek a kategorizációs feladatban. Az eredeti és magas térbeli frekvenciájú ingerek esetében ilyen különbséget nem tapasztaltunk (33. ábra). Ezen mintázat az M-pálya gyengébb működésére, az alacsony térbeli frekvenciájú információ eltérő feldolgozására utalhat fejlődési diszlexiásoknál. Ezen eredmények összhangban vannak a korábban ismertetett viselkedéses vizsgálatok eredményeivel (Demb et al., 1998b; Gori et al., 2016; Hansen et al., 2001; Talcott

et al., 1998), melyek szintén a magnocelluláris pálya gyengébb működésére hívják fel a figyelmet diszlexiásoknál.

P1 komponens amplitúdójának elemzése során szignifikánsan kisebb amplitúdót tapasztaltunk az MTF képekre összevetve az eredetikkel. Ahogyan azt korábban bemutattuk felnőtteknél okcipitálisan az alacsony térbeli frekvenciák váltanak ki nagyobb P1 amplitúdót (7. fejezet), kisgyermekkorban azonban egy ellentétes mintázat tapasztalható (8. fejezet). Mivel a képtípus és csoport interakciója nem bizonyult szignifikánsnak, így további elemzéseket nem végeztünk a 35. és 36. ábrán azonban látható a két csoport esetében tapasztalható eltérő mintázat, mely abból adódik, hogy az ATF képek esetében nagyobb amplitúdó különbség tapasztalható a két csoport között, mint a másik két képtípus esetében. Ezt a személyek közötti különbségek normalizálására irányuló elemzésünk is igazolta, hiszen tendenciaszintű különbség figyelhető meg a két csoport között az eredeti és ATF képek amplitúdójának arányában, pontosabban a diszlexiások esetében az eredeti/ATF arány nagyobb, mint a kontrollcsoportban (40. ábra). Ezen mintázat és hatások arra utalhatnak az ATF információ kérgi feldolgozásának zavarára, ami összefügghet az M-pálya deficitjével, vagyis jelezheti, hogy a magnocelluláris pálya ebben a csoportban kevésbé érett.

A P1 hullám elemzésekor szignifikánsan rövidebb latenciát tapasztaltunk az alacsony térbeli frekvenciájú képek esetén összevetve az eredeti ingerekre jelentkező latenciával (37. ábra). Egy korábbi vizsgálat rövidebb latenciát figyelt meg az alkalmazott ATF ingerekre szemben az MTF ingerekkel, de csak a diszlexiás csoport esetében, melyből a szerzők a P-pálya éretlenségére következtettek (Farrag et al., 2002). Jelen vizsgálatunkban - bár az ATF képekre valamivel rövidebb P1 latencia figyelhető meg – a módosított képek latenciája nem különbözik egymástól szignifikánsan, továbbá a két csoport sem tér el a három képtípusra jelentkező P1 latenciák tekintetében. Az általunk tapasztalt térbeli frekvenciák moduláló hatására vonatkozó mintázat összhangban van a második vizsgálat eredményeivel, melyből arra következtettünk, hogy a magnocelluláris pálya mielinizációja erre az életkorra már befejeződik, továbbá úgy tűnik, hogy a két csoport e tekintetben nem különbözik egymástól.

Az N1 hullám amplitúdójának esetében szintén csak a képtípus főhatás szignifikáns, továbbá az eredeti képekre jelentkező N1 amplitúdó kevésbé negatív összevetve a módosított képekkel (38. ábra). Ez a mintázat szintén megegyezik az előző vizsgálatban ezen életkorban tapasztalt hatásokkal. Az N1 latencia elemzésekor az elvégzett varianciaanalízis nem mutatott szignifikáns hatásokat a 39. ábrán azonban jól látható, hogy diszlexiások esetében hosszabb N1 latencia tapasztalható az ATF képekre, mint a kontrollcsoport esetében, melyet a

személyek közötti különbségek normalizálására irányuló elemzésünk is megerősít, hiszen tendenciaszintű különbségek figyelhetők meg, pontosabban a két csoport között az ATF/MTF képekre jelentkező latencia arányok eltérnek (40. ábra). Ez a hatás főként abból adódik, hogy a tipikus fejlődésű kontrollcsoport esetében az alacsony térbeli frekvenciájú ingerek rövidebb latenciát váltanak ki az MTF képekhez viszonyítva, a diszlexiás gyermekeknél azonban megfordul a mintázat, mely az ATF információ kérgi feldolgozásának eltérésére utalhat. Mivel felnőtteknél a durva, alacsony térbeli frekvenciájú információ által kiváltott rövidebb N1 latencia úgy tűnik, hogy top-down hatásokat tükröz (7. fejezet), melyet második vizsgálatunk eredményei is megerősíteni látszanak, hiszen az életkorral összefüggő, ATF képekre jelentkező N1 latencia rövidülés a kortikális „visszacsatoló rendszer” fejlődéseként is értelmezhető (8. fejezet). Ennek megfelelően, a diszlexiások esetében az alacsony térbeli frekvenciákra tapasztalható hosszabb N1 latencia gyengébb top-down folyamatokra utalhat.

Ezen eredmények szintén arra hívják fel a figyelmet, hogy a kategorizáció pontosság mutatójának értelmezésekor óvatosnak kell lennünk, hiszen azon eredményünk, mely szerint csak a pontosság adatok tekintetében figyeltünk meg szignifikáns eltérést az ATF képekre, arra utalhat, hogy a viselkedésesen megnyilvánuló hatás hátterében a csökkent M-pálya működés mellett más is állhat. Ahogyan azt már korábban is részleteztük, úgy tűnik, hogy természetes komplex képek kategorizációja más nem-vizuális áreákra is támaszkodik, mint például a prefrontális kérgi területek (Bar, 2003; Freedman et al., 2001; Ganis et al., 2007; Thorpe & Fabre-Thorpe, 2001). Ennek megfelelően elképzelhető, hogy a kevésbé fejlett magnocelluláris pálya és a gyengébb top-down hatások együttesen eredményezik a diszlexiás csoport esetében az alacsony térbeli frekvenciájú képekre tapasztalt gyengébb pontosságmutatókat. Ezen elképzelést támogatják a személyek közötti különbségek normalizálására irányuló elemzésünk eredményei is, mely szerint tendenciaszintű hatások tapasztalhatók a P1 amplitúdójának, valamint az N1 komponens latenciájának vizsgálatakor.

Az újabb megközelítések szerint, úgy tűnik, hogy az olvasás szempontjából kiemelt fontossággal bírnak az adott szöveggel kapcsolatos elvárásaink, vagy éppen az előzetes tudásunk, tapasztalataink, ennek megfelelően az olvasás szempontjából jelentős, hierarchikusan szerveződő ventrális kérgi területek aktivitását nem csupán a korai vizuális területek felől érkező szenzoros információk, hanem a magasabb asszociációs területek felől visszacsatolt „top-down” hatások, predikciók is meghatározzák (Price & Devlin, 2011). Ahogyan azt már korábban is említettük Bar (2003, 2004) elmélete alapján az M-pálya lehetővé teszi, hogy az inger durva, ATF reprezentációja a korai vizuális területekről eljusson

a frontális kérgi területek felé, ahol a lehetséges tárgyak reprezentációi aktiválódnak, ezzel elősegítve az ingerrel kapcsolatos gyors predikciók kialakulását. Ez alapján nem zárható ki, hogy a vizuális kategorizációs folyamatokhoz hasonlóan, a rendszer az olvasás szempontjából is hozzájárul a predikciós hatások létrejöttéhez. Ismereteink szerint ezen elképzelést ez idáig nem támogatják és nem is cáfolják empirikus adatok, de talán nem nehéz elképzelni, hogy a M-rendszer fejlődési diszlexiában kimutatott funkcionális és strukturális eltérései a téri figyelmi hatások mellett így módon (is) hozzájárulhatnak olvasási zavarhoz.

Fontos azonban a bemutatott kutatás korlátairól is beszélnünk, melyek főként a vizsgálatban szereplő mintával kapcsolatosak. Bár mind a P1 amplitúdó, mind az N1 latencia esetében a pontosság adatoknál tapasztalt mintázat rajzolódik ki, vagyis, hogy az ATF képek feldolgozása tér el leginkább, a hatások egyik esetben sem szignifikánsak. Úgy gondoljuk, hogy ennek oka lehet a csoportokon belüli széles életkori sáv, hiszen a második vizsgálatból (8. fejezet) láthattuk, hogy a korai komponensek (P1 és N1) esetében mind amplitúdóban, mind latenciában nagy életkori különbségek figyelhetők meg az egyes korcsoportok között, 7-től 15 éves korig. Mivel a csoportokban 9-14 éves gyermekek szerepelnek, az egyes csoportokon belüli, a személyek közötti nagy különbségek elfedhetik a megjelenő hatásokat, melynek kiegyenlítésére személyenként normalizáltuk a kondíciók közötti relatív különbségeket, mely elemzés az előzőekkel összhangban a P1 amplitúdó és N1 latencia esetében jelzett eltérést a két csoport között. Mindezek ellenére annak érdekében, hogy a csoportokon belüli nagy különbségeket kiküszöböljük, a következőkben fontos lenne egy szűkebb életkori sávot választani, a személyek között, akár 1-2 év korkülönbséggel (például 11-12 évesekkel). Ezen felül a későbbiekben mindenképp tervezzük a minta elemszámának növelését.

Ahogy azt a Módszerek fejezetben is részleteztük a diszlexiások a Csongrád Megyei Pedagógiai Szakszolgálat Megyei Szakértői Bizottságának rutin eljárása alapján diszlexiásnak diagnosztizáltak. Standardizált tesztek hiányában elképzelhető, hogy a diszlexiás mintába olyan személyek is bekerülhettek, akik nem valódi diszlexiások, így ez is elfedhette a jelentkező hatásokat. Ezen tény ismételten felhívja a figyelmet a standardizált tesztek kialakításának fontosságára.

Bár a diszlexiás csoportban három balkezes gyermek is szerepel, úgy gondoljuk, hogy ez eredményeinket nem befolyásolta, hiszen az egyes vizuális ERP-k változásait, csak az okcipitális területek felett, középvonalon vizsgáltuk, továbbá az adatelemzést csoportonként

12 fővel (csak jobbkezesek) is elvégeztük, melynek eredményei nem mutattak eltérést, ezért úgy döntöttünk, hogy a három balkezes diszlexiás adatai a mintában maradhatnak.

Összegezve tehát, a személyek közötti különbségek normalizálására vonatkozó elemzéstől eltekintve az EEG változók vizsgálatakor nem tapasztaltunk olyan statisztikai különbséget a két csoport között, mely egyértelműen megerősítené a magnocelluláris pálya sérülését, eredményeink mégis inkább Livingstone és munkatársai (1991), illetve Lehmkuhle és munkatársai (1993) eredményeivel mutatnak összefüggést, hiszen a pontosság, a P1 amplitúdó és N1 latencia esetében mutatkozó mintázat az M-pálya érintettségét jelzi, melyet a képtípusok közötti különbségek arányára vonatkozó elemzés is megerősíteni látszik. Ezen eredmények alapján nem feltételezzük, hogy a diszlexia hátterében csakis és kizárólag a magnocelluláris sejtek/pálya deficitje állna, hanem sokkal inkább úgy gondoljuk, hogy ahogyan a pontosság eredményeinket sem magyarázza egymagában az M-rendszer gyengébb működése, úgy a diszlexia kialakulását is több tényező befolyásolja. Egyre inkább úgy tűnik tehát, hogy a magnocelluláris deficit nem egymagában magyarázza a diszlexiát, hanem sokkal inkább egy komplex mintázat fontos része lehet. A diszlexia multifaktoriális természete mellett érvelnek Menghini és munkatársai (2010), akik számos különböző feladatban (pl.: fonológiai készségeket, vizuális feldolgozást, figyelmi funkciót, implicit tanulást, végrehajtó funkciókat vizsgáló feladatok) vizsgálták a diszlexiások teljesítményét. Eredményeik szerint a diszlexiás gyermekek több feladatban (többek között pl. a téri vizuális és a mozgáskoherencia vizsgálatára vonatkozó feladatban) gyengébben teljesítettek, mely megerősíti azt a feltevést mely szerint a diszlexia kialakulásának hátterében több tényező húzódik meg, és a deficit nem korlátozódik kizárólag a nyelvi vagy vizuális területekre (Menghini et al., 2010). Ennek megfelelően a jövőben érdekes lenne például szavak, betűsorok alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú változatait bemutatni, vagy más, például fonológiai tudatosságra, auditív észlelésre, figyelmi funkciókra vonatkozó feladatokat is beépíteni, így akár a diszlexia hátterében meghúzódó profilt is ki tudjunk alakítani.

10 ÖSSZEGZÉS ÉS TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK

A disszertációban bemutatott vizsgálatsorozat célja annak vizsgálata, hogy természetes, komplex képek kategorizációja során az alacsony és magas térbeli frekvenciák szűrése, hogyan befolyásolja a viselkedési adatokat, illetve az idegi aktivitást felnőttkorban (1. vizsgálat), 7-15 éves kor között (2. vizsgálat), illetve iskoláskorú fejlődési diszlexiások csoportjában (3. vizsgálat).

Dolgozatunkban a vizsgálatok célkitűzéseit, módszereit és eredményeit taglaló fejezeteket megelőzően széleskörű betekintést nyújtottunk a vizuális kategorizáció elméleti hátterét, elektrofiziológiai korrelátumait, valamint a magnocelluláris és parvocelluláris pályák működését feltérképező szakirodalmi előzményekbe, majd áttekintettük a folyamat életkori változásait, továbbá kitértünk a fejlődési diszlexia főbb elméleti megközelítéseire, különös tekintettel a magnocelluláris/dorzális rendszer érintettségét feltételező elméletekre. Elektrofiziológiai vizsgálataink előtt pilot vizsgálatunkat mutattuk be, melynek fő célja az általunk használni kívánt kísérleti elrendezés, ingerek, szűrőbeállítások tesztelése és elővizsgálata, az ingerek bemutatási idejének meghatározása volt.

Elektrofiziológiai vizsgálatsorozatunk első részében az alacsony, illetve a magas térbeli frekvenciák top-down folyamatokban betöltött szerepét vizsgáltuk egy fölérendelt vizuális kategorizációs feladatban, állatokat és járműveket ábrázoló komplex képek segítségével. Kutatásunkban Bar (2003, 2004) elméletét szem előtt tartva igyekszünk megragadni a folyamat komplexitását, az egész agyra kiterjedő aktivitásmintázatok vizsgálatával, továbbá annak időbeli változásainak követésével, nem csak az okcipitális területek, hanem a frontális és parietális régiók felett is. Az alacsony, illetve magas térbeli frekvenciák okcipitális területek felett jelentkező korai vizuális komponensekre (C1, P1) gyakorolt hatására vonatkozóan több vizsgálatot is találunk (Ellemberg et al., 2001; Foxe et al., 2008; Hansen et al., 2011), illetve a top-down hatások vizuális kategorizációban betöltött szerepéről is egyre többet olvashatunk (Bar, 2004; Bar et al., 2006), arra vonatkozóan azonban nem találtunk kutatást, hogy természetes komplex képek kategorizációja során az egyes komponensek térbeli frekvenciákra való érzékenysége hogyan hozható összefüggésbe a top-down folyamatokkal. Eredményeink alapján a korai, okcipitális területek felett jelentkező komponenseket a bemutatott térbeli frekvenciák modulálják, pontosabban a C1 hullám esetében a magas térbeli frekvenciák váltanak ki nagyobb amplitúdót, a P1 esetében azonban

az okcipitális területek felett az ATF, míg laterálisan az MTF ingerekre regisztrálhatunk nagyobb amplitúdót. Úgy tűnik, hogy már az N1 időablakától megfigyelhetők top-down hatások, de csak az alacsony térbeli frekvenciákat tartalmazó ingereknél (eredeti és ATF képek), mely az anterior területekre is áttérjedő amplitúdó változásokban, valamint a posterior laterális területek felett jelentkező rövidebb N1 latenciában nyilvánul meg. Eredményeink arra is rámutattak, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák szűrése a késői, tárgymodellszelekciót (N350) és a főként másodlagos kategorizációs folyamatokat (LPC) tükröző (Schendan & Kutas, 2007; Schendan & Maher, 2009) komponensek amplitúdóját és latenciáját is befolyásolja, továbbá ezen utóbbi komponens változásai már a viselkedéses adatokkal is összefüggést mutatnak. Fontos megjegyeznünk, hogy Bar (2003, 2004) elméletéhez kapcsolódóan többnyire képalkotó módszereket alkalmazó vizsgálatokat találunk, mi azonban az EEG módszerének köszönhetően a folyamat elektrofiziológiai korrelátumait, idői lefolyását, dinamikáját mutattuk be. Mind a skalpeloszlások, mind az eseményfüggő potenciálok amplitúdójának és latenciájának elemzése során jelentkező hatások megerősítik Bar (2003) elméletét, mely az M-csatorna által szállított információ top-down folyamatokban betöltött szerepét hangsúlyozza.

Leggyakrabban mesterséges ingereket használnak, ritkábban rajzolt, vagy környezetükből kiragadott élőlények, vagy élettelen dolgok képei szerepelnek ingerként. Bár az utóbbi ingerek életszerűbbek, azonban ezekben az esetekben is hiányzik a kontextus, így nincsenek jelen azok a vizuális vonások, melyek a célinger környezetét jellemzik (Ruderman, 1997), és amelyek segíthetik az adott objektum azonosítását (Bar, 2004; Joubert et al., 2008; Torralba & Oliva, 2003). Kutatásaink újszerűségét adja, hogy olyan képeket mutattunk be, melyeken a céltárgy természetes környezetében szerepel, így az ATF információn keresztül a PHC, illetve az RSC aktiválódása és így a kontextus elemzése segítheti és megkönnyítheti az inger azonosítását, kategorizációját (Bar, 2004). Ennek köszönhetően sokkal pontosabb következtetéseket tudunk levonni a körülöttünk lévő környezet ingereinek feldolgozására vonatkozóan.

Számos vizsgálat rámutatott arra, hogy az M- és P-csatornák vizsgálatakor a viselkedéses mutatók és az elektrofiziológiai korrelátumok tekintetében egyaránt, kisgyermekkor követően is életkori változások figyelhetők meg, a vizsgálatok eredményei azonban sok esetben ellentmondásosak. Második EEG kutatásunk célja annak vizsgálata volt, hogy az alacsony, illetve magas térbeli frekvenciák szűrése hogyan befolyásolja természetes komplex képek kategorizációját 7 és 15 éves kor között a viselkedéses és az elektrofiziológiai korrelátumok

szintjén. A pontosság és a reakcióidő mellett az okcipitális területek felett jelentkező korai vizuális komponensek (P1 és N1) amplitúdójának és latenciájának életkori változásait vizsgálatuk. Eredményeink szerint a P1 és N1 komponensek amplitúdójának érzékenysége az alacsony és magas térbeli frekvenciájú ingerekre 7-8 éves korban fordított mintázatot mutat, szemben azzal, amit korábban felnőtt személyeknél tapasztaltunk (7. fejezet) és amit a szakirodalomban is olvashatunk (Craddock et al., 2013; Ellemberg et al., 2001; Hansen et al., 2011). Eredményeink alapján úgy gondoljuk, hogy iskoláskorban mind az ATF, mind az MTF kérgi feldolgozása fejlődik és ezt több tényező befolyásolja beleértve (de nem kizárólag) a kéregalatti látópályák érését, vagy a vizuális input feldolgozását az okcipitotemporális régióban. Elképzelhető, hogy a pontosság esetében az alacsony térbeli frekvenciákra tapasztalt jelentősebb javulás az ATF információ feldolgozásának fejlődése mellett a top-down hatások érésének is köszönhető, melyre az ATF N1 peak-to-peak latencia életkorral összefüggő változásából következtettünk. Vizsgálatunk fő eredményének tekinthető, hogy sikerült kimutatnunk a P1 és N1 komponensek a különböző térbeli frekvenciákra való érzékenységének fokozatos eltolódását az életkor előrehaladtával. Összességében úgy gondoljuk, hogy az alacsony és magas térbeli frekvenciák feldolgozásának fejlődésére vonatkozó adatok értelmezésekor óvatosnak kell lennünk, hiszen úgy tűnik, hogy sem a viselkedéses, sem az egyes komponensek változásai sem mutatják csak és kizárólag az M- és P-csatornák érését, hanem más folyamatok is hatással lehetnek azokra.

A tipikus fejlődés vizsgálata fontos, hiszen az eredmények segítségünkre lehetnek abban, hogy könnyebben megértsük az atipikus működések hátterében meghúzódó folyamatokat. Több fejlődési zavarban is igazolták a magnocelluláris/dorzális rendszer gyengébb, károsodott működését, kutatásunkban és a disszertációban azonban csak a fejlődési diszlexiával foglalkoztunk részletesebben. Bár az iskoláskorú gyermekek viszonylag nagy százalékát érinti, továbbá a nagyszámú vizsgálatok és elméletek ellenére továbbra sem tisztázott, hogy mi állhat a diszlexia kialakulásának a hátterében. A számos megközelítés közül dolgozatunkban a vizuális rendszer deficitjét feltételező elméletekre és annak tesztelésére helyeztük a hangsúlyt. A szakirodalomban több olyan vizsgálatot is találunk, melyek a magnocelluláris/dorzális rendszer érintettségére utalnak fejlődési diszlexiában (Demb et al., 1998a, 1998b; Eden et al., 1996; Gori et al., 2016; Hansen et al., 2001; Livingstone et al., 1991; Talcott et al., 1998), azonban olyan eredményekről is beszámoltak már, melyek cáfolják az M-rendszer szelektív sérülését (Farrag et al., 2002; Johannes et al., 1996; Séra et al., 2010; Tsermentseli et al., 2008). Vizsgálatunkban mi is ezt a kérdéskört kíséreltük meg

körbejárni, vagyis arra voltunk kíváncsiak, hogy vajon valóban a magnocelluláris sejtek szelektív sérülése, vagy sokkal inkább egy általános, mindkét pályát érintő deficitről van szó. Harmadik vizsgálatunk célja tehát annak vizsgálata volt, hogy az alacsony, illetve a magas térbeli frekvenciák kivonása hogyan befolyásolja komplex képek kategorizációja során jelentkező viselkedéses változókat, valamint az okcipitális területek felett regisztrálható vizuális komponensek (P1 és N1) amplitúdóját és latenciáját. Az előzőekhez hasonlóan a diszlexiások vizsgálata során is főként mesterséges ingereket alkalmazó kutatásokat találunk, így vizsgálatunk mindenképp hiánypótló, hiszen eddig még nem használt természetes komplex képek alkalmazásával újabb információkat kaphatunk a diszlexiások vizuális feladatban nyújtott teljesítményéről és idegi aktivitásáról. Bár a pontosság adatok tekintetében tapasztalt eredmények az M-pálya csökkent működését és az alacsony térbeli frekvenciák feldolgozásának szelektív sérülését jelzik, az elektrofiziológiai korrelátumok sokkal komplexebb mintázatra utalnak, hiszen az EEG változók tekintetében nem találtunk olyan eltérést, mely csakis és kizárólag a magnocelluláris pálya sérülését igazolná. Sokkal inkább úgy tűnik, hogy a kevésbé fejlett magnocelluláris pálya és a gyengébb top-down hatások együttesen eredményezik a diszlexiás csoport esetében az alacsony térbeli frekvenciájú képekre tapasztalt gyengébb pontosságmutatókat. Ezen eredmények arra utalnak, hogy a magnocelluláris deficit nem egymagában magyarázza a diszlexiát, hanem sokkal inkább egy komplex mintázat fontos része lehet, vagyis tovább erősítik azt a feltevést, mely szerint a diszlexia egy multifaktoriális zavar, hiszen több deficit együttes megjelenése vezet az olvasás zavarának kialakulásához (Menghini et al., 2010). Az eredmények értelmezésekor azonban hangsúlyozzunk a minta bővítésének és egy szűkebb életkori sáv meghatározásának a szükségességét.

A jövőben mindenképpen fontosnak tartjuk a diszlexiás minta elemszámának növelését, azonban fontos lenne egy szűkebb életkori sáv kijelölése is, hiszen a második EEG vizsgálatból láthattuk, hogy nagy életkori különbségek figyelhetők meg 7 és 15 éves kor között az egyes vizuális komponensek amplitúdójának és latenciájának tekintetében. Mivel a csoportokban 9-14 éves gyermekek szerepelnek, az egyes csoportokon belüli, a személyek közötti nagy különbségek, elfedhetik az esetlegesen megjelenő hatásokat. Ahogyan azt az előbbiekben is említettük egyre inkább úgy tűnik, hogy a diszlexiára, mint multifaktoriális zavarra kell tekintetünk, így mindenképp érdekes lenne a vizuális kategorizációs feladat mellett más, például fonológiai tudatosságra, auditív észlelésre, figyelmi funkciókra

vonatkozó feladatokkal is kiegészíteni a vizsgálatot, melynek köszönhetően akár a diszlexia háttérében meghúzódó kognitív profilról is komplexebb képet kaphatunk.

A disszertációban lépéseket tettünk az idegtudomány, pszichológia és neveléstudomány közelebb hozásához egyrészt a tipikus fejlődés, másrészt a fejlődési diszlexiás gyermekek elektrofiziológiai korrelátumainak vizsgálatán keresztül, eredeti és módosított komplex képek kategorizációja során. Nem szükséges azonban ezen a ponton megállnunk, hiszen a különböző idegtudományi módszereknek, így akár az EEG módszerének köszönhetően az alkalmazott fejlesztések, tréningek idegrendszerre gyakorolt hatása is nyomon követhető. Ez alapján mindenképp érdekes lenne egy a magnocelluláris rendszer, vagy a top-down folyamatok fejlesztésére irányuló tréning hatásának vizsgálata. Nem állítjuk azt, hogy a diszlexia háttérében csak és kizárólag a magnocelluláris sejtek deficitje állna, de a pontosság és a P1 komponens amplitúdójának modulációjából úgy tűnik, hogy annak gyengébb működésével kell számolnunk fejlődési diszlexia esetében, ennek megfelelően érdemes lenne megnézni, hogy egy rövid ideig tartó tréning milyen hatással lenne az idegi aktivitásra és az olvasási teljesítményre.

A további kutatásokban érdemes lenne a vizsgált populációnkat kiterjeszteni és más atipikus fejlődést mutató gyerekcsoportok körében is elvégezni a vizsgálatot. A közeljövőben autista gyermekek bevonását tervezzük, kezdetben csak a viselkedéses változók, később pedig az elektrofiziológiai korrelátumok feltérképezésén keresztül. Több olyan eredményt is találunk, melyek az M-pálya szelektív sérülésére utalnak autizmus spektrumzavarban (Deruelle et al., 2004; Sutherland & Crewther, 2010), azonban az általunk alkalmazott komplex ingerekhez hasonlóakkal még nem vizsgálták.

Úgy gondoljuk, érdekes lenne rövidebb bemutatási idő alkalmazásával is elvégezni a vizsgálatot. A disszertáció elején részletezett felnőttek bevonásával végzett vizsgálatokból - melyekkel az általunk bemutatott első elektrofiziológiai kutatásunk eredményei is összhangban vannak - jól látható, hogy a magnocelluláris pálya által szállított információknak, vagyis az alacsony térbeli frekvenciáknak, kiemelkedő szerepük van a tárgyfelismerés és kategorizáció folyamatában. Amellett, hogy az alacsony térbeli frekvenciák a prefrontális kérgi területek bevonásával serkentik a tárgyfelismerés folyamatát (Bar, 2003), az ilyen típusú durva térbeli felbontású információ kritikus lehet azokban a helyzetekben, amikor gyors válasz szükséges, például valamilyen veszélyforrás mielőbbi detektálása és elkerülése céljából (Carretié et al., 2005). A 8. fejezetben bemutatott vizsgálatunk eredményeink alapján úgy tűnik, hogy gyermekkorban a felnőttekéhez képest egy ellentétes mintázat figyelhető meg és

sokkal inkább a lokális információk/részletek a meghatározóbbak, de kérdés, hogy vajon milyen mintázat figyelhető meg akkor, amikor a gyermekeknek sokkal kevesebb idő (pl. 150-200 ms) áll rendelkezésre, hogy „megvizsgálják” a részleteket.

Összegezve, a disszertációban idegtudományi módszert alkalmazva igyekeztünk feltérképezni a vizuális kategorizáció folyamatát felnőttek, iskoláskorú (7-15 éves) tipikus fejlődésű gyermekek, valamint fejlődési diszlexiások körében. Vizsgálatunk az általunk alkalmazott természetes, komplex képeknek köszönhetően az általunk vizsgálat összes korcsoportban és a diszlexiások tekintetében egyaránt hiánypótló. Eredményeink fontosak lehetnek a pedagógia, pszichológia és az idegtudomány, továbbá a gyakorlatban dolgozó fejlesztő szakemberek számára, hiszen vizsgálati elrendezésünknek köszönhetően pontosabb képet kaphatunk a tipikus fejlődés mellett atipikus fejlődést mutató gyermekek egy csoportjáról, a fejlődési diszlexiásokról. Úgy gondoljuk, hogy eredményeink, a szakirodalomban olvasható elméletek pontosítása és ellentétek feloldása mellett akár diszlexiás gyermekek fejlesztésének megtervezését is segíthetik. A hogyan azt korábban is igyekeztünk hangsúlyozni érdemes lenne további vizsgálatokat végezni, a mintát kibővíteni, mégis úgy gondoljuk, hogy eredményeink alapján a diszlexiás gyermekek fejlesztésébe és terápiájában érdemes lenne a magnocelluláris csatorna stimulálására irányuló, illetve a top-down folyamatok fejlődését segítő feladatokat beépíteni. Bár jelenleg az idegtudományi vizsgálatok eredményei még nem járnak közvetlen osztálytermi alkalmazással, kis lépésekben azonban bővítheti tudásunkat a tanulás folyamatáról, a fejlesztések neurális hatásairól, a tipikus fejlődéssel vagy az egyes tanulási zavarokkal kapcsolatban (Szűcs & Goswami, 2007).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Elsőként szeretném megköszönni témavezetőmnek, Dr. Csifcsák Gábornak szakmai támogatását, biztatását és a közös munka eredményeiben való együttműködését. Köszönöm Győri-Dani Dórának támogatását, szakmai segítségét, precíz és körültekintő javaslatait, valamint barátságát.

A doktori tanulmányok során Dr. Csapó Benő kutatói munkával kapcsolatos elvárásai motiváltak, gyakran iránymutatóak voltak, továbbá köszönettel tartozom, hogy lehetővé tette számomra a Neveléstudományi Doktori Iskola infrastruktúrájának használatát.

Hálás vagyok a Szegedi Tudományegyetem Pszichológiai Intézetének, hogy a Grastyán Endre EEG laborban folytathattam adatfelvételeimet, továbbá köszönettel tartozom azon pszichológia szakos hallgatóknak, akik az adatfelvételt segítették. Szeretném kifejezni hálámat azoknak az intézményeknek, pedagógusoknak, és természetesen a vizsgálatban részt vevő személyeknek, akik együttműködése nélkül nem valósulhattak volna meg vizsgálataink.

Hálás vagyok a családom, párom, barátaim és kollégáim segítségével. Köszönöm, hogy mindig mellettem álltak, folyamatos biztatásukkal és szeretetükkel erőt adtak.

IRODALOMJEGYZÉK

- Adams, R. J., Mercer, M. E., & Courage, M. L. (1992). A new technique to measure contrast sensitivity in human infants. *Optometry & Vision Science*, 69, 440-446.
- Adams, R. J. & Courage, M. L. (1993). Contrast sensitivity in 24-and 36-month-olds as assessed with the contrast sensitivity card procedure. *Optometry & Vision Science*, 70, 97-101.
- Adams, R. J. & Courage, M. L. (2002). Using a single test to measure human contrast sensitivity from early childhood to maturity. *Vision Research*, 42, 1205–1210.
- Amitay, S., Ben-Yehudah, G., Banai, K., & Ahissar, M. (2002). Disabled readers suffer from visual and auditory impairments but not from a specific magnocellular deficit. *Brain*, 125, 2272-2285.
- Antal, A., Kéri, S., Kovács, G., Lízli, P., Janka, Z., & Benedek, G. (2001). Event-related potentials from a visual categorization task. *Brain Research Protocols*, 7, 131-136.
- American Psychiatric Association (2013). *DSM-5 referencia kézikönyv a DSM-5 diagnosztikai kritériumaihoz*. Budapest: Oriold és Társai Kiadó.
- American Psychiatric Association (1995). *DSM-IV diagnosztikai kritériumai*. Budapest: Animula Kiadó.
- Atkinson, J., King, J., Braddick, O., Nokes, L., Anker, S., & Braddick, F. (1997). A specific deficit of dorsal stream function in Williams' syndrome. *NeuroReport*, 8, 1919-1922.
- Bar, M. (2003). A cortical mechanism for triggering top-down facilitation in visual object recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 600-609.
- Bar, M., & Aminoff, E. (2003). Cortical analysis of visual context. *Neuron*, 38, 347–358.
- Bar, M. (2004). Visual objects in context. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 617–629.
- Bar, M., Kassam, K. S., Ghuman, A. S., Boshyan, J., Schmid, A. M., Dale, A. M., Hämäläinen, M. S., Marinkovic, K., Schacter, D. L., Rosen, B. R., & Halgren, E. (2006). Top-down facilitation of visual recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103, 449-454.
- Bar, M. (2009). The proactive brain: memory for predictions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364, 1235-1243.

- Barnard, N., Crewther, S. G., & Crewther, D. P. (1998). Development of a magnocellular function in good and poor primary school-age readers. *Optometry and Vision Science*, 75, 62-68.
- Batty, M. & Taylor, M. J. (2002). Visual categorization during childhood: An ERP study. *Psychophysiology*, 39, 482–490.
- Baseler, H. A., & Sutter, E. E. (1997). M and P Components of the VEP and their Visual Field Distribution. *Vision Research*, 37, 675–690.
- Behl-Chadha, G. (1996). Basic-level and superordinate-like categorical representations in early infancy. *Cognition*, 60, 105-141.
- Benedek, Gy., Benedek, K., Kéri, Sz., & Janáky, M. (2003). The scotopic low-frequency spatial contrast sensitivity develops in children between the ages of 5 and 14 years. *Neuroscience Letters*, 345, 161–164.
- Benedek, Gy., Janáky, M., Benedek, K., & Kéri, Sz. (2006). A látási információ parallel feldolgozása. *Ideggyógyászati Szemle*, 59, 241-248.
- Benedek, K., Janáky, M., Braunitzer, G., Rokszin, A., Kéri, S., & Benedek, G. (2010). Parallel development of contour integration and visual contrast sensitivity at low spatial frequencies. *Neuroscience Letters*, 472, 175-178.
- Bentin, S., Golland, Y., Flevaris, A., Robertson, L. C., & Moscovitch, M. (2006). Processing the trees and the forest during initial stages of face perception: electrophysiological evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 1406-1421.
- Biederman, I. (1972). Perceiving real-world scenes. *Science*, 177, 77–80.
- Biederman, I., Mezzanotte, R. J., & Rabinowitz, J. C. (1982). Scene perception: Detecting and judging objects undergoing relational violations. *Cognitive Psychology*, 14, 143–177.
- Blair, R.C., & Karniski, W. (1993). An alternative method for significance testing of waveform difference potentials. *Psychophysiology*, 30, 518–524.
- Blau, V., Reithler, J., van Atteveldt, N., Seitz, J., Gerretsen, P., Goebel, R., & Blomert, L. (2010). Deviant processing of letters and speech sounds as proximate cause of reading failure: a functional magnetic resonance imaging study of dyslexic children. *Brain*, 133, 868-879.
- BNO-10. *A betegségek és az egészséggel kapcsolatos problémák nemzetközi statisztikai osztályozása. 10. revízió* (1995). Budapest: Népjóléti Minisztérium.

- Boeschoten, M., Kenemans, J. L., van Engeland, H., & Kemner, C. (2007). Abnormal spatial frequency processing in high-functioning children with pervasive developmental disorder (PDD). *Clinical Neurophysiology*, 118, 2076–2088.
- Bomba, P. C., & Siqueland, E. R. (1983). The nature and structure of infant form categories. *Journal of Experimental Child Psychology*, 35, 294-328.
- Bosse, M. L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: The visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104, 198-230.
- Bradley, L., & Bryant, P. E. (1978). Difficulties in auditory organisation as a possible cause of reading backwardness. *Nature*, 271, 746-747.
- Bradley, L., & Bryant, P. E. (1983). Categorizing sounds and learning to read: A causal connection. *Nature*, 301, 419-421.
- Bullier, J. (2001). Integrated model of visual processing. *Brain Research Reviews*, 36, 96–107.
- Carmel, D. & Bentin, S. (2002). Domain specificity versus expertise: factors influencing distinct processing of faces. *Cognition*, 83, 1-29.
- Carretié, L., Hinojosa, J. A., Mercado, F., & Tapia, M. (2005). Cortical response to subjectively unconscious danger. *NeuroImage*, 24, 615-623.
- Clark, V. P., & Hillyard, S. A. (1996). Spatial selective attention affects early extrastriate but not striate components of the visual evoked potential. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 387–402.
- Cornelissen, P., Richardson, A., Mason, A., Fowler, S., & Stein, J. (1995). Contrast sensitivity and coherent motion detection measured at photopic luminance levels in dyslexics and controls. *Vision Research*, 35, 1483-1494.
- Cowan, W. M., Fawcett, J. W., O'Leary, D. D., & Stanfield, B. B. (1984). Regressive events in neurogenesis. *Science*, 225, 1258-1266.
- Craddock, M., Martinovic, J., & Müller, M. M. (2013). Task and spatial frequency modulations of object processing: an EEG study. *PLoS ONE* 8: e70293.
- Craddock, M., Martinovic, J., & Müller, M. M. (2015). Early and late effects of objecthood and spatial frequency on event-related potentials and gamma band activity. *BMC Neuroscience*, 16:6.
- Curran, T., Tanaka, J. W., & Weiskopf, D. M. (2002). An electrophysiological comparison of visual categorization and recognition memory. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 2, 1-18.

- Csépe, V. (2006). *Az olvasó agy*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Csépe, V. (2008) Diszlexia és olvasásfejlődés. Szüksége van-e a pedagógiának idegtudományra? *Pedagógusképzés*, 6, 79-99.
- Csépe, V. (2014). Az olvasás zavarai és a diszlexia. In Cs. Pléh & Á. Lukács (Eds.), *Pszicholingvisztika 2.* (pp. 1345-1363) Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Damasio, H., Grabowski, T. J., Tranel, D., Hichwa, R. D., Damasio, A. R. (1996). A neural basis of lexical retrieval. *Nature*, 380, 499-505.
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134, 9–21.
- Demb, J. B., Boynton, G. M., & Heeger, D. J. (1998a). Functional magnetic resonance imaging of early visual pathways in dyslexia. *Journal of Neuroscience*, 18, 6939-6951.
- Demb, J. B., Boynton, G. M., Best, M., & Heeger, D. J. (1998b). Psychophysical evidence for a magnocellular pathway deficit in dyslexia. *Vision Research*, 38, 1555-1559.
- Denckla, M. B., & Rudel, R. G. (1976). Rapid 'automatized' naming (RAN): Dyslexia differentiated from other learning disabilities. *Neuropsychologia*, 14, 471-479.
- Dering, B., Martin, C. D., Moro, S., Pegna, A. J., & Thierry, G. (2011). Face-sensitive processes one hundred milliseconds after picture onset. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5:93.
- Deruelle, C., Rondan, C., Gepner, B., & Tardif, C. (2004). Spatial frequency and face processing in children with autism and Asperger syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 34, 199-210.
- Dien, J., Spencer, K. M., & Donchin, E. (2004). Parsing the late positive complex: mental chronometry and the ERP components that inhabit the neighborhood of the P300. *Psychophysiology*, 41, 665–678.
- Dobkins, K. R., Anderson, C. M., & Lia, B. (1999). Infant temporal contrast sensitivity functions (tCSFs) mature earlier for luminance than for chromatic stimuli: evidence for precocious magnocellular development? *Vision Research*, 39, 3223–3239.
- Downing, P. E., Jiang, Y., Shuman, M. & Kanwisher, N. (2001). A cortical area selective for visual processing of the human body. *Science*, 293, 2470-2473.
- Eden, G. F., VanMeter, J. W., Rumsey, J. M., & Maisog, J. M. (1996). Abnormal processing of visual motion in dyslexia revealed by functional brain imaging. *Nature*, 382, 66-69.

- Eimas, P. D., & Quinn, P. C. (1994). Studies on the formation of perceptually based basic-level categories in young infants. *Child Development*, 65, 903-917.
- Ellemberg, D., Hammarrenger, B., Lepore, F., Roy, M.-S., & Guillemot, J.-P. (2001). Contrast dependency of VEPs as a function of spatial frequency: the parvocellular and magnocellular contributions to human VEPs. *Spatial Vision*, 15, 99-111.
- Epstein, R. & Kanwisher, N. (1998). A cortical representation of the local visual environment. *Nature*, 392, 598-601.
- Epstein, R., Harris, A., Stanley, D., & Kanwisher, N. (1999). The parahippocampal place area: recognition, navigation, or encoding? *Neuron*, 23, 115-125.
- Fabre-Thorpe, M. (2011). The characteristics and limits of rapid visual categorization. *Frontiers in Psychology*, 2:243.
- Facoetti, A., Paganoni, P., Turatto, M., Marzola, V., & Mascetti, G. G. (2000). Visual-spatial attention in developmental dyslexia. *Cortex*, 36, 109-123.
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., & Hoormann, J. (1994). Effects of choice complexity on different subcomponents of the late positive complex of the event-related potential. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, 92, 148-160.
- Farrag, A. F., Khedr, E. M., & Abel-Naser, W. (2002). Impaired parvocellular pathway in dyslexic children. *European Journal of Neurology*, 9, 359-363.
- Fawcett, A. J., Nicolson, R. I., & Dean, P. (1996). Impaired performance of children with dyslexia on a range of cerebellar tasks. *Annals of Dyslexia*, 46, 259-283.
- Ferrera, V. P., Nealey, T. A., & Maunsell, J. H. R. (1992). Mixed parvocellular and magnocellular geniculate signals in visual area V4. *Nature*, 358, 756-761.
- Ferrera, V. P., Nealey, T. A., & Maunsell, J. H. R. (1994). Responses in macaque visual area V4 following inactivation of the parvocellular and magnocellular LGN pathways. *Journal of Neuroscience*, 14, 2080-2088.
- Fink, G. R., Halligan, P. W., Marshall, J. C., Frith, C. D., Frackowiak, R. S., & Dolan, R. J. (1996). Where in the brain does visual attention select the forest and the trees? *Nature*, 382, 626-628.
- Foxe, J. J., Strugstad, E. C., Sehatpour, P., Molholm, S., Pasieka, W., Schroeder, C. E., & McCourt, M. E. (2008). Parvocellular and magnocellular contributions to the initial generators of the visual evoked potential: High-density electrical mapping of the “C1” component. *Brain Topography*, 21, 11-21.

- Freedman, D. J., & Miller, E. K. (2008). Neural mechanisms of visual categorization: insights from neurophysiology. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 32, 311-329.
- Freedman, D. J., Riesenhuber, M., Poggio, T., & Miller, E. K. (2001). Categorical representation of visual stimuli in the primate prefrontal cortex. *Science*, 291, 312-316.
- Fu, S., Fedota, J. R., Greenwood, P. M., & Parasuraman, R. (2010). Dissociation of visual C1 and P1 components as a function of attentional load: An event-related potential study. *Biological Psychology*, 85, 171-178.
- Galaburda, A. M., LoTurco, J., Ramus, F., Fitch, R. H., & Rosen, G. D. (2006). From genes to behavior in developmental dyslexia. *Nature Neuroscience*, 9, 1213-1217.
- Ganis, G., Schendan, H. E. & Kossly, S. M. (2007). Neuroimaging evidence for object model verification theory: Role of prefrontal control in visual object categorization. *NeuroImage*, 34, 384-398.
- Gauthier, I., Skudlarski, P., Gore, J. C., & Anderson, A. W. (2000). Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition. *Nature Neuroscience*, 3, 191-197.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C., & Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2, 861-863.
- Giedd, J. N. (2004). Structural magnetic resonance imaging of the adolescent brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1021, 77-85.
- Gilbert, C. D., & Li, W. (2013). Top-down influences on visual processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 14, 350-363.
- Goffaux, V., Gauthier, I., & Rossion B. (2003). Spatial scale contribution to early visual differences between face and object processing. *Cognitive Brain Research*, 16, 416-424.
- Goffaux, V., Peters, J., Haubrechts, J., Schiltz, C., Jansma, B., & Goebel, R., (2011). From coarse to fine? Spatial and temporal dynamics of cortical face processing. *Cerebral Cortex*, 21, 467-476.
- Gogtay, N., Giedd, J.N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., Nugent, T. F. 3rd, Herman, D. H., Clasen, L. S., Toga, A. W., Rapoport, J. L., Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 8174-8179.

- Gordon, G. E., & McCulloch, D. L. (1999). A VEP investigation of parallel visual pathway development in primary school age children. *Documenta Ophthalmologica*, 99, 1-10.
- Gori, S., Seitz, A. R., Ronconi, L., Franceschini, S., & Facoetti, A. (2016). Multiple causal links between magnocellular–dorsal pathway deficit and developmental dyslexia. *Cerebral Cortex*, 26, 4356-4369.
- Goswami, U. (2015). Sensory theories of developmental dyslexia: three challenges for research. *Nature Reviews Neuroscience*, 16, 43-54.
- Grill-Spector, K., & Malach, R. (2004). The human visual cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 649-677.
- Gunn, A., Cory, E., Atkinson, J. C. A., Braddick, O., Wattam-Bell, J., Guzzetta, A., & Cioni, G. (2002). Dorsal and ventral stream sensitivity in normal development and hemiplegia. *NeuroReport*, 13, 843-847.
- Gutheil, G., Vera, A., & Keil, F. C. (1998). Do houseflies think? Patterns of induction and biological beliefs in development. *Cognition*, 66, 33-49.
- Hammarrenger, B., Leporé, F., Lippé, S., Labrosse, M., Guillemot, J. P., & Roy, M. S. (2003). Magnocellular and parvocellular developmental course in infants during the first year of life. *Documenta Ophthalmologica*, 107, 225-233.
- Hansen, P. C., Stein, J. F., Orde, S. R., Winter, J. L., & Talcott, J. B. (2001). Are dyslexics' visual deficits limited to measures of dorsal stream function? *NeuroReport*, 12, 1527-1530.
- Hansen, B. C., Jacques, T., Johnson, A., & Ellemborg, D. (2011). From spatial frequency contrast to edge preponderance: the differential modulation of early visual evoked potentials by natural scene stimuli. *Visual Neuroscience*, 28, 221-237.
- Heinze, H. J., Hinrichs, H., Scholz, M., Burchert, W., & Mangun, G. R. (1998). Neural mechanisms of global and local processing. A combined PET and ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 485-498.
- Hendry, S. H. C., & Yoshioka, T. (1994). A neurochemically distinct third channel in the macaque dorsal lateral geniculate nucleus. *Science*, 264, 575-577.
- Hendry, S. H. C., Reid, R. C. (2000). The koniocellular pathway in primate vision. *Annual Review of Neuroscience*, 431, 168-181.
- Hopf, J. M., Vogel, E., Woodman, G., Heinze, H. J. & Luck, S. J. (2002). Localizing Visual Discrimination Processes in Time and Space. *Journal of Neurophysiology*, 88, 2088-2095.

- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *The Journal of Physiology*, 195, 215-243.
- Huttenlocher, P. R. (1979). Synaptic density in human frontal cortex - developmental changes and effects of aging. *Brain Research*, 163, 195-205.
- Huttenlocher, P. R., de Courten, C., Garey, L. J., & Van der Loos, H. (1982). Synaptogenesis in human visual cortex - evidence for synapse elimination during normal development. *Neuroscience Letters*, 33, 247-252.
- Huttenlocher, P. R. & Dabholkar, A. S. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *The Journal of Comparative Neurology*, 387, 167-178.
- Itier, R. J. & Taylor, M. J. (2004). Effects of repetition and configural changes on the development of face recognition processes. *Developmental Science*, 7, 469-487.
- Jeffreys, D. A., & Axford, J. G. (1972). Source locations of pattern-specific components of human visual evoked potentials. I. Component of striate cortical origin. *Experimental Brain Research*, 16, 1-21.
- Johannes, S., Kussmaul, C. L., Münte, T. F., & Mangun, G. R. (1996). Developmental dyslexia: passive visual stimulation provides no evidence for a magnocellular processing defect. *Neuropsychologia*, 34, 1123-1127.
- Jones, M. W., Branigan, H. P., & Kelly, M. L. (2008). Visual deficits in developmental dyslexia: relationships between non-linguistic visual tasks and their contribution to components of reading. *Dyslexia*, 14, 95-115.
- Joubert, O. R., Fize, D., Rousselet, G. A., & Fabre-Thorpe, M. (2008). Early interference of context congruence on object processing in rapid visual categorization of natural scenes. *Journal of Vision*, 8, 1-18.
- Kail, R. (1993). Processing time decreases globally at an exponential rate during childhood and adolescence. *Journal of Experimental Child Psychology*, 56, 254-265.
- Kail, R., & Hall, L. K. (1994). Processing speed, naming speed, and reading. *Developmental Psychology*, 30, 949-954.
- Kanwisher, N., McDermott, J. & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *The Journal of Neuroscience*, 17, 4302-4311.
- Katusic, S. K., Colligan, R. C., Barbaresi, W. J., Schaid, D. J., & Jacobsen, S. J. (2001). Incidence of reading disability in a population-based birth cohort, 1976-1982, Rochester, Minn. *Mayo Clinic Proceedings*, 76, 1081-1092).

- Kaplan, E., & Shapley, R. M. (1986). The primate retina contains two types of ganglion cells, with high and low contrast sensitivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 83, 2755–2757.
- Kaplan, E. (2004). The M, P, and K pathways of the primate visual system. In: L. M. Chalupa, & J. S. Werner (Eds.), *The visual neuroscience* (pp. 481–494). Cambridge: The MIT Press.
- Kelly, S. P., Gomez-Ramirez, M., & Foxe, J. J. (2008). Spatial attention modulates initial afferent activity in human primary visual cortex. *Cerebral Cortex*, 18, 2629–2636.
- Kenemans, J. L., Baas, J. M. P., Mangun, G. R., Lijffijt, M., & Verbaten, M. N. (2000). On the processing of spatial frequencies as revealed by evoked-potential source modeling. *Clinical Neurophysiology*, 111, 1113–1123.
- Kevan, A., & Pammer, K. (2008). Visual deficits in pre-readers at familial risk for dyslexia. *Vision Research*, 48, 2835–2839.
- Kevan, A., & Pammer, K. (2009). Predicting early reading skills from pre-reading measures of dorsal stream functioning. *Neuropsychologia*, 47, 3174–3181.
- Kéri, S., & Antal, A. (2000). A komplex vizuális környezet kategorizációjának neurofiziológiai mechanizmusai. *Magyar Pszichológiai Szemle*, 55, 461–473.
- Kéri, Sz. & Gulyás, B. (2003). Elektrofiziológiai módszerek a kognitív idegtudományokban. In Cs. Pléh, Gy. Kovács, & B. Gulyás (Eds.), *Kognitív idegtudomány* (pp. 81–96). Budapest: Osiris Kiadó.
- Kiefer, M. (2001). Perceptual and semantic sources of category-specific effects: event-related potentials during picture and word categorization. *Memory & Cognition*, 29, 100–116.
- Kovács, Gy. (2003). A perceptuális kategorizáció alapjai. In Cs. Pléh, Gy. Kovács, & B. Gulyás (Eds.), *Kognitív idegtudomány* (pp. 202–216). Budapest: Osiris Kiadó.
- Kveraga, K., Boshyan, J., Bar, M. (2007a). Magnocellular projections as the trigger of top-down facilitation in recognition. *The Journal of Neuroscience*, 27, 13232–13240.
- Kveraga, K., Ghuman A. S., & Bar, M. (2007b). Top-down predictions in the cognitive brain. *Brain and Cognition*, 65, 145–168.
- Kveraga, K., Ghuman, A. S., Kassam, K. S., Aminoff, E. A., Hämäläinen, M. S., Chaumon, M., & Bar, M. (2011). Early onset of neural synchronization in the contextual associations network. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 3389–3394.

- Lehmkuhle, S., Garzia, R. P., Turner, L., Hash, T., & Baro, J. A. (1993). A defective visual pathway in children with reading disability. *New England Journal of Medicine*, 328, 989-996.
- Li, F. F., VanRullen, R., Koch, C., & Perona, P. (2002). Rapid natural scene categorization in the near absence of attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, 9596-9601.
- Linkersdörfer, J., Lonnemann, J., Lindberg, S., Hasselhorn, M., & Fiebach, C. J. (2012). Grey matter alterations co-localize with functional abnormalities in developmental dyslexia: an ALE meta-analysis. *PloS ONE*, 7, e43122.
- Lippé, S., Roy, M. S., Perchet, C., & Lassonde, M. (2007). Electrophysiological markers of visuocortical development. *Cerebral Cortex*, 17, 100-107.
- Livingstone, M. S., & Hubel, D. H. (1987). Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *Journal of Neuroscience*, 7, 3416-3468.
- Livingstone, M. & Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, 240, 740-749.
- Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W., & Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88, 7943-7947.
- Logothetis, N. K., & Sheinberg, D. L. (1996). Visual object recognition. *Annual Review of Neuroscience*, 19, 577-621.
- Lovegrove, W. J., Bowling, A., Badcock, D., & Blackwood, M. (1980). Specific reading disability: differences in contrast sensitivity as a function of spatial frequency. *Science*, 210, 439-440.
- Lörík, J. (é. n.). *Az írott nyelv zavarai: diszlexia, diszgráfia*. Magyar Logopédusok Szakmai Szövetsége honlapjáról letölthető:
<http://www.mlszsz.hu/files/Az%20%C3%ADrott%20nyelv%20zavarai.pdf> (letöltés dátuma: 2017. 03. 23.)
- Luck, S. J. (2005). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. Cambridge: The MIT Press.
- Luna, B., Garver, K. E., Urban, T. A., Lazar, N. A., & Sweeney, J. A. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child Development*, 75, 1357-1372.

- Mahajan, Y., & McArthur, G. (2012). Maturation of visual evoked potentials across adolescence. *Brain & Development*, 34, 655-666.
- Mandler, J. M. (2000). Perceptual and conceptual processes in infancy. *Journal of Cognition and Development*, 1, 3-36.
- Mandler, J. M. (2010). The spatial foundations of the conceptual system. *Language and Cognition*, 2, 21-44.
- Mandler, J. M., & McDonough, L. (1993). Concept formation in infancy. *Cognitive Development*, 8, 291-318.
- Mandler, J. M., & McDonough, L. (1998). On developing a knowledge base in infancy. *Developmental Psychology*, 34, 1274-1288.
- Mandler, J. M., Fivush, R., & Reznick, J. S. (1987). The development of contextual categories. *Cognitive Development*, 2, 339-354.
- Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1991). Modulations of sensory-evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual-spatial priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 1057-1074.
- Mareschal, D., & Quinn, P. C. (2001). Categorization in infancy. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 443-450.
- Martinovic, J., Gruber, T., & Müller, M. M. (2008). Coding of visual object features and feature conjunctions in the human brain. *PLoS ONE* 3: e3781.
- Meixner, I. (1993). *A dyslexia prevenció, reedukáció módszere*. Budapest: BGGYTF.
- Melloni, L., Schwiedrzik, C. M., Müller, N., Rodriguez, E., & Singer, W. (2011). Expectations change the signatures and timing of electrophysiological correlates of perceptual awareness. *The Journal of Neuroscience*, 31, 1386-1396.
- Menghini, D., Finzi, A., Benassi, M., Bolzani, R., Facoetti, A., Giovagnoli, S., Ruffino, M., & Vicari, S. (2010). Different underlying neurocognitive deficits in developmental dyslexia: a comparative study. *Neuropsychologia*, 48, 863-872.
- Metting Van Rijn, A. C., Peper, A., & Grimbergen, C. A. (1990). High quality recording of bioelectric events: I. Interference reduction, theory and practice. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 28, 389-397.
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, 6, 414-417.

- Murdoch-Eaton, D., Darowski, M., & Livingston, J. (2001). Cerebral function monitoring in paediatric intensive care: useful features for predicting outcome. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 43, 91-96.
- Nagy, Z., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Maturation of white matter is associated with the development of cognitive functions during childhood. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1227–1233.
- Nakashima, T., Kaneko, K., Goto, Y., Abe, T., Mitsudo, T., Ogata, K., Makinouchi, A., & Tobimatsu, S (2008). Early ERP components differentially extract facial features: evidence for spatial frequency-and-contrast detectors. *Neuroscience Research*, 62, 225-235.
- Nealey, T. A., & Maunsell, J. H. R. (1994). Magnocellular and parvocellular contributions to the responses of neurons in macaque striate cortex. *The Journal of Neuroscience*, 14, 2069–2079.
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., Berry, E. L., Jenkins, I. H., Dean, P., & Brooks, D. J. (1999). Association of abnormal cerebellar activation with motor learning difficulties in dyslexic adults. *The Lancet*, 353, 1662-1667.
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P. (2001). Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis. *Trends in Neurosciences*, 24, 508-511.
- Norton, E. S., & Wolf, M. (2012). Rapid automatized naming (RAN) and reading fluency: Implications for understanding and treatment of reading disabilities. *Annual Review of Psychology*, 63, 427-452.
- Norton, E. S., Black, J. M., Stanley, L. M., Tanaka, H., Gabrieli, J. D., Sawyer, C., & Hoefft, F. (2014). Functional neuroanatomical evidence for the double-deficit hypothesis of developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 61, 235-246.
- Nowak, L. G., Munk, M. H. J., Girard, P., & Bullier, J. (1995). Visual latencies in areas V1 and V2 of the macaque monkey. *Visual Neuroscience*, 12, 371–384.
- Oakes, L. M., Coppage, D. J., & Dingel, A. (1997). By land or by sea: the role of perceptual similarity in infants' categorization of animals. *Developmental Psychology*, 33, 396.
- Oliva, A. & Torralba, A. (2001). Modeling the shape of a scene: a holistic representation of the spatial envelope. *International Journal of Computer Vision*, 42, 145–175.
- Paus, T., Zijdenbos, A., Worsley, K., Collins, D. L., Blumenthal, J., Giedd, J. N., Rapoport, J. L., & Evans, A. C. (1999). Structural maturation of neural pathways in children and adolescents: In vivo study. *Science*, 283, 1908-1911.

- Paus, T., Keshavan, M., & Giedd, J. N. (2008). Why do many psychiatric disorders emerge during adolescence? *Nature Reviews Neuroscience*, 9, 947-957.
- Perrin, J. S., Leonard, G., Perron, M., Pike, G. B., Pitiot, A., Richer, L., Veillette, S., Pausova, Z., & Paus, T. (2009). Sex differences in the growth of white matter during adolescence. *NeuroImage*, 45, 1055-1066.
- Peters, J. C., Vlamings, P., & Kemner, C. (2013). Neural processing of high and low spatial frequency information in faces changes across development: qualitative changes in face processing during adolescence. *European Journal of Neuroscience*, 37, 1448-1457.
- Peyrin, C., Baci, M., Segebarth, C., & Marendaz, C. (2004). Cerebral regions and hemispheric specialization for processing spatial frequencies during natural scene recognition. An event-related fMRI study. *NeuroImage*, 23, 697-706.
- Peyrin, C., Schwartz, S., Seghier, M., Michel, C., Landis, T., & Vuilleumier, P. (2005). Hemispheric specialization of human inferior temporal cortex during coarse-to-fine and fine-to-coarse analysis of natural visual scenes. *NeuroImage*, 28, 464-473.
- Peyrin, C., Mermillod, M., Chokron, S., & Marendaz, C. (2006). Effect of temporal constraints on hemispheric asymmetries during spatial frequency processing. *Brain and Cognition*. 62, 214-220.
- Pfefferbaum, A., Mathalon, D. H., Sullivan, E. V., Rawles, J. M., Zipursky, R. B., & Lim, K. O. (1994). A quantitative magnetic resonance imaging study of changes in brain morphology from infancy to late adulthood. *Archives of Neurology*, 51, 874-887.
- Picton, T. W. & Taylor, M. J. (2007). Electrophysiological evaluation of human brain development. *Developmental Neuropsychology*, 31, 249-278.
- Pollux, P. M. J., Hall, S., Roebuck, H., & Guo, K. (2011). Event-related potential correlates of the interaction between attention and spatiotemporal context regularity in vision. *Neuroscience*, 190, 258-269.
- Pourtois, G., Dan, E. S., Grandjean, D., Sander, D., & Vuilleumier, P. (2005). Enhanced extrastriate visual response to bandpass spatial frequency filtered fearful faces: time course and topographic evoked-potentials mapping. *Human Brain Mapping*, 26, 65-79.
- Price, C. J., & Devlin, J. T. (2011). The interactive account of ventral occipitotemporal contributions to reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 246-253.
- Proverbio, M., Del Zotto, M., & Zani, A. (2007). The emergence of semantic categorization in early visual processing: ERP indices of animal vs. artifact recognition. *BMC Neuroscience*, 8:24.

- Puce, A., Allison, T., Gore, J. C., & McCarthy, G. (1995). Face-sensitive regions in human extrastriate cortex studied by functional MRI. *Journal of Neurophysiology*, 74, 1192–1199.
- Quinn, P. C., & Eimas, P. D. (2000). The emergence of category representations during infancy: Are separate perceptual and conceptual processes required? *Journal of Cognition and Development*, 1, 55-61.
- Quinn, P. C., & Eimas, P. D. (1996a). Perceptual cues that permit categorical differentiation of animal species by infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 63, 189-211.
- Quinn, P. C., & Eimas, P. D. (1996b). Perceptual organization and categorization in young infants. In C. Rovee-Collier, & L. P. Lipsitt (Eds) *Advances in Infancy Research*. (pp. 1-36.) Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Quinn, P. C., Eimas, P. D., & Rosenkrantz, S. L. (1993). Evidence for representations of perceptually similar natural categories by 3-month-old and 4-month-old infants. *Perception*, 22, 463-475.
- Quinn, P. C., Eimas, P. D., & Tarr, M. J. (2001). Perceptual categorization of cat and dog silhouettes by 3-to 4-month-old infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 79, 78-94.
- Rae, C., Lee, M. A., Dixon, R. M., Blamire, A. M., Thompson, C. H., Styles, P., Talcott, J., Richardson, A. J., & Stein, J. F. (1998). Metabolic abnormalities in developmental dyslexia detected by ¹H magnetic resonance spectroscopy. *The Lancet*, 351, 1849-1852.
- Ragó, A. (2011). A fogalmi fejlődés dinamikája – esemény és kategorizáció kisgyerekkorban, mesterséges fogalmak esetén (doktori disszertáció). Letöltve: http://www.ppk.elte.hu/file/rago_anett_dissz.pdf
- Rakison, D. H., & Butterworth, G. E. (1998). Infants' use of object parts in early categorization. *Developmental Psychology*, 34, 49-62.
- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126, 841-865.
- Rauss, K. S., Pourtois, G., Vuilleumier, P., & Schwartz, S. (2009). Attentional load modifies early activity in human primary visual cortex. *Human Brain Mapping*, 30, 1723–1733.
- Reiss, A. L., Abrams, M. T., Singer, H. S., Ross, J. L., & Denckla, M. B. (1996). Brain development, gender and IQ in children. A volumetric imaging study. *Brain*, 119, 1763-1774.

- Rennie, C. J., Robinson, P. A. & Wright, J. J. (2002). Unified neurophysical model of EEG spectra and evoked potentials. *Biological Cybernetics*, 86, 457–471.
- Rokszin, A. A. (2013). A vizuális kategorizációs folyamatok érésének feltérképezése 7-15 éves egészséges gyermekek és felnőttek körében. *Iskolakultúra*, 23, 37-51.
- Rokszin, A. A., & Csifcsák, G. (2015). A vizuális kategorizáció fejlődésének idegrendszeri alapjai. *Iskolakultúra*, 25, 17-31.
- Rokszin, A. A., Győri-Dani, D., Linnert, S., Krajcsi, A., Tompa, T., & Csifcsák, G. (2015). The interplay of holistic shape, local feature and color information in object categorization. *Biological Psychology*, 109, 120-131.
- Rokszin, A. A., Győri-Dani, D., Nyúl, L. G., & Csifcsák, G. (2016). Electrophysiological correlates of top-down effects facilitating natural image categorization are disrupted by the attenuation of low spatial frequency information. *International Journal of Psychophysiology*, 100, 19-27.
- Rokszin, A. A., Győri-Dani, D., Bácsi, J., & Csifcsák, G. (elbírálás alatt) Tracking changes in spatial frequency sensitivity during natural image categorization in school-age: an event-related potential study. *Journal of Experimental Child Psychology*.
- Rossion, B., Gauthier, I., Goffaux, V., Tarr, M. J., & Crommelinck, M. (2002). Expertise training with novel objects leads to left-lateralized facelike electrophysiological responses. *Psychological Science*, 13, 250–257.
- Rossion, B., Caharel, S. (2011). ERP evidence for the speed of face categorization in the human brain: Disentangling the contribution of low-level visual cues from face perception. *Vision Research*, 51, 1297-1311.
- Rousselet, G. A., Thorpe, S. J., & Fabre-Thorpe, M. (2004). How parallel is visual processing in the ventral pathway? *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 363-370.
- Rousselet, G. A., Pernet, C. R., Caldara, R., & Schyns, P. G. (2011). Visual Object Categorization in the Brain: What Can We Really Learn from ERP Peaks? *Frontiers in Human Neuroscience*, 5:156.
- Rousselet, G. A., & Pernet, C. R. (2011). Quantifying the time course of visual object processing using ERPs: It's time to up the game. *Frontiers in Psychology*, 2:107.
- Rovee-Collier, C. (1997). Dissociations in infant memory: rethinking the development of implicit and explicit memory. *Psychological Review*, 104, 467-498.
- Ruderman, D. L. (1997). Origins of scaling in natural images. *Vision Research*, 37, 3385-3398.

- Rudvin, I., Valberg, A., & Kilavik, B. E. (2000). Visual evoked potentials and magnocellular and parvocellular segregation. *Visual Neuroscience*, 17, 579–590.
- Rushby, J. A., Barry, R. J., & Doherty, R. J. (2005). Separation of the components of the late positive complex in an ERP dishabituation paradigm. *Clinical Neurophysiology*, 116, 2363–2380.
- Sagiv, N., & Bentin, S. (2001). Structural encoding of human and schematic faces: holistic and part-based processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 937–951.
- Schendan, H. E., & Kutas, M. (2002). Neurophysiological evidence for two processing times for visual object identification. *Neuropsychologia*, 40, 931–945.
- Schendan, H. E., & Kutas, M. (2007). Neurophysiological evidence for the time course of activation of global shape, part, and local contour representations during visual object categorization and memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 734–749.
- Schendan, H. E., & Maher, S. M. (2009). Object knowledge during entry-level categorization is activated and modified by implicit memory after 200 ms. *NeuroImage*, 44, 1423–1438.
- Schendan, H. E., & Lucia, L. C. (2010). Object-sensitive activity reflects earlier perceptual and later cognitive processing of visual objects between 95 and 500 ms. *Brain Research*, 1329, 124–141.
- Schyns, P. G., Petro, L. S., & Smith, M. L. (2007). Dynamics of visual information integration in the brain for categorizing facial expressions. *Current Biology*, 17, 1580–1585.
- Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Fletcher, J. M., & Escobar, M. D. (1990). Prevalence of reading disability in boys and girls: Results of the Connecticut Longitudinal Study. *Jama*, 264, 998–1002.
- Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., Mencl, W. E., Constable, R. T., Pugh, K. R., Holahan, J. M., Marchione, K. E., Fletcher, J. M., Lyon, G. R., & Gore, J. G. (2003). Neural systems for compensation and persistence: young adult outcome of childhood reading disability. *Biological Psychiatry*, 54, 25–33.
- Segalowitz, S. J., Santesso, D. L., & Jetha, M. K. (2010). Electrophysiological changes during adolescence: a review. *Brain and Cognition*, 72, 86–100.
- Séra, L., Révész, G., Vajda, D., & Járαι, R. (2010). Vizuális észlelési problémák fejlődési diszlexiásoknál. *Pszichológia*, 30, 317–333.
- Sekuler, R., & Blake, R. (2004). *Észlelés*. Budapest: Osiris Kiadó.

- Smith, E. S. & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283, 1657-1661.
- Spencer, J., Quinn, P. C., Johnson, M. H., & Karmiloff-Smith, A. (1997). Heads you win, tails you lose: Evidence for young infants categorizing mammals by head and facial attributes. *Early Development and Parenting*, 6, 113-126.
- Sperling, A. J., Lu, Z. L., Manis, F. R., & Seidenberg, M. S. (2005). Deficits in perceptual noise exclusion in developmental dyslexia. *Nature Neuroscience*, 8, 862-863.
- Stein, J. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7, 12-36.
- Stein, J., & Walsh, V. (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 20, 147-152.
- Sutherland, A., & Crewther, D. P. (2010). Magnocellular visual evoked potential delay with high autism spectrum quotient yields a neural mechanism for altered perception. *Brain*, 133, 2089-2097.
- Szűcs, D., & Goswami, U. (2007). Educational neuroscience: Defining a new discipline for the study of mental representations. *Mind, Brain, and Education*, 1, 114-127.
- Talcott, J. B., Hansen, P. C., Assoku, E. L., & Stein, J. F. (2000). Visual motion sensitivity in dyslexia: evidence for temporal and energy integration deficits. *Neuropsychologia*, 38, 935-943.
- Talcott, J. B., Hansen, P. C., Willis-Owen, C., McKinnell, I. W., Richardson, A. J., & Stein, J. F. (1998). Visual magnocellular impairment in adult developmental dyslexics. *Neuro-ophthalmology*, 20, 187-201.
- Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language*, 9, 182-198.
- Tallal, P. (2004). Improving language and literacy is a matter of time. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 721-728.
- Tanaka, J., Luu, P., Weisbrod, M., & Kiefer, M. (1999). Tracking the time course of object categorization using event-related potentials. *NeuroReport*, 17, 829-835.
- Taylor, M. J., & Baldeweg, T. (2002). Application of EEG, ERP and intracranial recordings to the investigation of cognitive functions in children. *Developmental Science*, 5, 318-334.
- Thorpe, S. J., & Fabre-Thorpe, M. (2001). Seeking categories in the brain. *Science*, 291, 260-263.

- Toga, A. W., Thompson, P. M., & Sowell, E. R. (2006). Mapping brain maturation. *TRENDS in Neurosciences*, 29, 148-159.
- Torralba, A., & Oliva, A. (2003). Statistics of natural image categories. *Network*, 14, 391–412.
- Tóth, D., & Csépe, V. (2008). Az olvasás fejlődése kognitív pszichológiai nézőpontból. *Pszichológia*, 28, 35-52.
- Tsermentseli, S., O'Brien, J. M., & Spencer, J. V. (2008). Comparison of form and motion coherence processing in autistic spectrum disorders and dyslexia. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38, 1201-1210.
- Tsuneishi, S. & Casaer, P. (1997). Stepwise decrease in VEP latencies and the process of myelination in the human visual pathway. *Brain & Development*, 19, 547–551.
- van den Boomen, C., van der Smagt, M. J., & Kemner, C. (2012). Keep your eyes on development: the behavioral and neurophysiological development of visual mechanisms underlying form processing. *Frontiers in Psychiatry*, 3: 16.
- van den Boomen, C., Jonkman, L. M., Jaspers-Vlamings, P. H. J. M., Cousijn, J., & Kemner, C. (2015). Developmental changes in ERP responses to spatial frequencies. *PLoS ONE* 10: e0122507.
- van den Boomen, C., & Peters, J. C. (2017). Spatial frequency discrimination: effects of age, reward, and practice. *PLoS ONE*, 12: e0169800.
- Van Essen, D. C., Anderson, C. H. & Felleman D. J. (1992). Information processing in the primate visual system: an integrated system perspective. *Science*, 255, 419-423.
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45, 2-40.
- Vidyasagar, T. R. (2004). Neural underpinnings of dyslexia as a disorder of visuo-spatial attention. *Clinical and Experimental Optometry*, 87, 4-10.
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (1999). Impaired visual search in dyslexia relates to the role of the magnocellular pathway in attention. *NeuroReport*, 10, 1283-1287.
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 57-63.
- Victor, J. D., Conte, M. M., Burton, L., & Nass, R. D. (1993). Visual evoked potentials in dyslexics and normals: failure to find a difference in transient or steady-state responses. *Visual Neuroscience*, 10, 939-946.

- Vogel, E. K. & Luck, S. J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology*, 37, 190-203.
- Wagner, R. K., & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 101, 192.
- Wagner, R. K., Torgesen, J. K., Rashotte, C. A., Hecht, S. A., Barker, T. A., Burgess, S. R., Donahue, J., & Garon, T. (1997). Changing relations between phonological processing abilities and word-level reading as children develop from beginning to skilled readers: a 5-year longitudinal study. *Developmental Psychology*, 33, 468-479.
- Whitford, T. J., Rennie, C. J., Grieve, S. M., Clark, C. R., Gordon, E., & Williams, L. M. (2007). Brain maturation in adolescence: concurrent changes in neuroanatomy and neurophysiology. *Human Brain Mapping*, 28, 228-237.
- Wolf, M., & Bowers, P. G. (1999). The double-deficit hypothesis for the developmental dyslexias. *Journal of Educational Psychology*, 91, 415-438.
- Wolf, M., Bowers, P. G., & Biddle, K. (2000). Naming-speed processes, timing, and reading. A conceptual review. *Journal of Learning Disabilities*, 33, 387-407.
- Ziegler, J. C., Pech-Georgel, C., Dufau, S., & Grainger, J. (2010). Rapid processing of letters, digits and symbols: what purely visual-attentional deficit in developmental dyslexia? *Developmental Science*, 13, F8-F14.

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Az ábra a ventrális pálya felépítését és működését ábrázolja a vizuális feldolgozás hagyományos, előreutató modellje szerint. Ahogyan az ábrán is látható, hogy a ventrális pályában a V1-től az inferotemporális kéreg felé haladva a sejtek, egyre komplexebb ingerekre reagálnak (az ábra az alábbi közlemény alapján lett megszerkesztve: Rousselet et al., 2004).....	12
2. ábra: Az ábrán az eredeti kép alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú változatai láthatók (forrás: Bar, 2004).	13
3. ábra: Az ábrán a magnocelluláris és parvocelluláris pályák vizsgálatára leggyakrabban alkalmazott mesterséges ingerek, különböző térbeli frekvenciájú és kontrasztú rácsmintázatok láthatók: A: alacsony térbeli frekvencia, B: magas térbeli frekvencia, C: alacsony luminancia kontraszt, D: magas luminancia kontraszt (az ábra az alábbi közleményből lett átvéve és módosítva: van den Boomen et al., 2012).	14
4. ábra: Az ábra a vizuális ingerek feldolgozását és elemzését mutatja Bar (2003, 2004) elmélete szerint (Az ábra az alábbi közlemények alapján lett módosítva és szerkesztve: Bar, 2004, 2009).....	18
5. ábra: Az ábrán a korai vizuális komponensek (C1, P1, N1) láthatók (az ábra az alábbi közleményekből lettek átvéve és módosítva: van den Boomen, et al., 2012). A 0 ms az inger megjelenésének idejét jelzi.....	21
6. ábra: Az ábra azt mutatja, hogy a bemutatott ingerek komplexitása hogyan befolyásolja az N350 komponens amplitúdóját (az ábra az alábbi közleményből lett átvéve és módosítva: Martinovic et al., 2008).	22
7. ábra: Az ábra a szürkeállomány térfogatváltozásának MRI felvételeit mutatja. A jobb oldali színes sáv az adott színekhez tartozó értékeket ábrázolja (forrás: Gogtay et al., 2004).	35
8. ábra: Az ábrán a magnocelluláris és parvocelluláris csatornák vizsgálatára alkalmazott ingerekre látható néhány példa. Az ábra felső részén a Hansen és munkatársai (2001) kutatásában a mozgás- (A, B) és formakoherencia-küszöb (C, D) vizsgálatára szolgáló ingerek. Az alsó sorban a mozgásészlelés vizsgálatára alkalmas Glass-minta (E) (Tsermentseli, O'Brien, & Spencer, 2008), illetve a Gábor-foltokból álló kontúrintegrációs feladat egyik eleme (D) (Kovács, Pennefather, Chandna, & Norcia, 2000 idézi: Séra et al., 2010).....	53

9. ábra: Az ábrán a pilot vizsgálatban használt eredeti (bal oszlop), alacsony (középső oszlop) illetve magas (jobb oszlop) térbeli frekvenciájú képekre látható példa állat (felső sor) és jármű (alsó sor) kategóriában.	64
10. ábra: Az ábra a három képtípus esetében mért pontosság (A) és reakcióidő (B) adatok átlagait és szórásait mutatja. A csillagok a Bonferroni post hoc páronkénti összevetések szignifikáns különbségeit jelölik.	67
11. ábra: Az ábrán a vizsgálatban szereplő négy korcsoport esetében jelentkező pontosság (A) és reakcióidő (B) adatok átlaga és szórása látható.	68
12. ábra: Az ábrán a vizsgálatban szereplő négy korcsoport pontosság (A) és reakcióidő (B) adatainak átlaga és szórása láthatók az eredeti, alacsony illetve magas térbeli frekvenciájú képtípusok esetén. A csillag a páros t-próbák által kapott szignifikáns különbséget jelöli.	68
13. ábra: Az ábrán a kutatásban használt eredeti (bal oszlop), alacsony (ATF, középső oszlop), illetve magas térbeli frekvenciájú (MTF, jobb oszlop) képekre látható példa állat, és jármű kategóriában.	76
14. ábra: Az ábra a vizsgálatokban használt képek bemutatásának módját mutatja.	77
15. ábra: A vizsgálatban használt elektródák elhelyezése a skalpon.	78
16. ábra: Az ábra az eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú módosított képek esetében jelentkező pontosság (%) adatok átlagát és a szórást mutatja. A csillagok a Bonferroni post hoc elemzések szignifikáns különbségeit jelölik.	85
17. ábra: Az ábra az eredeti, ATF, illetve MTF képek esetében jelentkező reakcióidő (ms) adatok átlagát és szórását mutatja. A csillagok a Bonferroni post hoc elemzések szignifikáns különbségeit jelölik.	86
18. ábra: Az ábra a térbeli frekvenciák moduláló hatását mutatja az okcipitális (az O1, Oz és O2 elektródák jelei átlagolva) területek felett regisztrált eseményfüggő potenciálokra. Az ábrák alján szereplő fekete sáv a páronkénti összehasonlítás szignifikáns különbségeit jelzi 0,01-es szignifikanciaszint mellett, permutációs statisztikai elemzést alkalmazva.	87
19. ábra: Az ábrán az alkalmazott térbeli frekvenciák módosító hatása látható a bal (P7-es elektróda) és jobb (P8-as elektróda) oldali parietális területek felett elhelyezett elektródákon jelentkező eseményfüggő potenciálokra. Az ábrák alján szereplő fekete sáv a páronkénti összevetések szignifikáns különbségeit jelzi 0,01-es szignifikanciaszint mellett, permutációs elemzést alkalmazva.	88
20. ábra: Az ábra a térbeli frekvenciák moduláló hatását mutatja frontocentrális (az FC1, Oz és FC2 elektródák jelei átlagolva) területek felett regisztrált eseményfüggő potenciálokra. Az	

ábrák alján szereplő fekete sáv a páronkénti összehasonlítás szignifikáns különbségeit jelzi 0,01-es szignifikanciaszint mellett, permutációs statisztikai elemzést alkalmazva.	89
21. ábra: Az ábrán a térbeli frekvenciák módosító hatása látható az LPC komponensre a centroparietális területek felett (a P3, Pz és P4 elektródákon regisztrált jelek átlagolva). Az ábrák alján szereplő fekete sáv a páronkénti összevetések szignifikáns különbségeit jelzi 0,01-es szignifikanciaszint mellett, a permutációs elemzés során.....	89
22. ábra: Az ábra az eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú képek által kiváltott skalpeloszlásokat mutatja három időablakban: 120-160 ms (poszterior P1), 170-210 ms (poszterior N1) és 300-400 ms (frontocentrális N350). Az ábrán a skalpeloszlások statisztikai összevetésének eredményei is szerepelnek, a piros pontok a szignifikáns különbségeket jelzik 0,01 szignifikanciaszint mellett, permutációs elemzést alkalmazva.	90
23. ábra: Az ábrán a C1, P1, N1, N350 és az LPC komponensek latencia értékeinek átlaga és a szórás láthatók az általunk vizsgált három képtípus esetében. A csillagok a Bonferroni post hoc elemzés szignifikáns különbségeit ($p < 0,05$) jelzik.....	93
24. ábra: Az ábra az eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú képekre jelentkező pontosság (%) adatok átlagát és szórásokat mutatja az öt korcsoport esetében.	103
25. ábra: Az ábra az eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú képekre jelentkező reakcióidő (ms) adatok életkori változásait mutatja.....	106
26. ábra: Az ábra az eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú képekre jelentkező eseményfüggő potenciálok átlagait mutatja az öt korcsoport (A: 7-8 évesek, B: 9-10 évesek, C: 11-12 évesek, D: 13-15 évesek, E: Felnőttek) esetében, az okcipitális területek felett.....	108
27. ábra: Az ábra az alkalmazott térbeli frekvenciák P1 amplitúdóra gyakorolt módosító hatását mutatja az öt korcsoport esetében.	109
28. ábra: Az ábrán az alkalmazott képtípusokra jelentkező P1 latencia értékeinek átlaga és a szórás látható az öt korcsoport esetében.....	112
29. ábra: Az ábrán az alkalmazott térbeli frekvenciák N1 amplitúdóra gyakorolt módosító hatása látható az öt korcsoport esetében.....	114
30. ábra: Az ábrán a három képtípusra jelentkező N1 peak-to-peak amplitúdók átlaga és a szórás láthatók az öt korcsoport esetében.....	117
31. ábra: Az ábrán az eredeti, ATF és MTF képek N1 baseline-to-peak latenciára gyakorolt módosító hatása látható az öt korcsoport esetében.....	119
32. ábra: Az ábrán az eredeti, ATF és MTF képek esetén regisztrált N1 peak-to-peak latenciák átlaga és a szórán láthatók az öt korcsoport esetében.	120

33. ábra: Az ábra a diszlexiás és tipikus fejlődésű kontrollcsoport pontosság adatainak átlagát és a szórást mutatja az eredeti, ATF és MTF képtípusokra. A csillag a páronkénti összevetés során jelentkező szignifikáns különbséget jelzi.	131
34. ábra: Az ábrán a diszlexiás és tipikus fejlődésű kontrollcsoport reakcióidő adatainak átlaga és a szórás látható az eredeti, ATF és MTF képtípusokra.....	132
35. ábra: Az ábra az eredeti, alacsony, illetve magas térbeli frekvenciájú képekre jelentkező eseményfüggő potenciálok átlagait mutatja a diszlexiás és a kontrollcsoportban. A pontról-pontra elemzés egyik esetben sem igazolt szignifikáns különbséget a két csoport között.....	133
36. ábra: Az ábrán az eredeti, alacsony és magas térbeli frekvenciájú képek által kiváltott P1 amplitúdó átlaga és a szórás látható a két csoportban.	134
37. ábra: Az ábrán az eredeti, ATF és MTF ingerek által kiváltott P1 latenciák átlaga és a szórás látható a diszlexiás és kontrollcsoportban.	134
38. ábra: Az ábra az alkalmazott képtípusok által kiváltott N1 amplitúdó átlagát és a szórást mutatja a két csoportban.	135
39. ábra: Az ábra az eredeti ATF és MTF képekre jelentkező N1 latencia átlagát és a szórást mutatja a diszlexiás és kontrollcsoportban.	136
40. ábra: Az ábra a személyek közötti különbségek normalizálására irányuló elemzésünk eredményét mutatja a P1 amplitúdó és N1 latencia esetében.	136

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: A táblázat az elemszámot, az életkori átlagokat (és szórásokat), valamint a nemek arányát mutatja az egyes életkori övezetekben.	63
2. táblázat: A táblázat a Bonferroni post hoc elemzések eredményeit mutatja a résztvevők négy korcsoportjában a viselkedéses adatok esetében.	69
3. táblázat: A táblázat a reakcióidő adatok elemzése során a Bonferroni páronkénti összehasonlítás eredményeit mutatja a három képtípus esetében.	70
4. táblázat: A táblázat a skalpeloszlások statisztikai elemzésének eredményeit mutatja. A táblázatban azon elektródák szerepelnek, melyek esetében a páronkénti összevetés során a különbségek szignifikánsnak bizonyultak ($p < 0,01$).	91
5. táblázat: A táblázat az elemszámot, az életkor átlagát (és szórását), valamint a nemek arányát mutatja az egyes életkori övezetekben.	100
6. táblázat: A táblázat az öt korcsoportban a három képtípus esetén regisztrált pontosság (%) és reakcióidő (ms) adatok átlagait és a hozzájuk tartozó szórást mutatja.	103
7. táblázat: A táblázat a képtípusok páronkénti összevetésének (Bonferroni post hoc) eredményeit mutatja a résztvevők öt csoportjában a viselkedéses adatok esetében.	104
8. táblázat: A pontosság adatok elemzése során a korcsoportok Bonferroni páronkénti összehasonlításának eredményei a három képtípus esetében.	105
9. táblázat: A táblázat az öt korcsoportban, a három képtípus esetén regisztrált P1 amplitúdók és latenciák átlagait, illetve a hozzájuk tartozó szórás értékeket mutatja.	109
10. táblázat: A táblázat a képtípusok Bonferroni post hoc páronkénti összevetésének eredményeit mutatja a résztvevők öt csoportjában a P1 komponens amplitúdójának és latenciájának esetében.	110
11. táblázat: A P1 amplitúdójának elemzése során az egyes korcsoportok páronkénti összevetésének (Bonferroni post hoc) eredményei a három képtípus esetében.	111
12. táblázat: Az egyes korcsoportok esetén jelentkező P1 latencia páronkénti összevetésének eredményei a három képtípus esetében.	113
13. táblázat: A táblázat az öt korcsoportban a három képtípus esetén regisztrált N1 amplitúdók (μV) és latenciák (ms) átlagait és a hozzájuk tartozó szórást mutatja.	114
14. táblázat: A táblázat a képtípusok Bonferroni post hoc páronkénti összevetésének eredményeit mutatja a résztvevők öt csoportjában a N1 komponens baseline-to-peak amplitúdójának és latenciájának esetében.	115

15. táblázat: Az N1 baseline-to-peak amplitúdójának elemzése során a korcsoportok Bonferroni-korrigált páronkénti összehasonlításának eredményei a három képtípus esetében.	116
16. táblázat: A táblázat a képtípusok Bonferroni post hoc páronkénti összevetésének eredményeit mutatja a résztvevők öt csoportjában a N1 komponens peak-to-peak amplitúdójának és latenciájának esetében.	118
17. táblázat: Az N1 peak-to-peak amplitúdójának elemzése során a korcsoportok Bonferroni-korrigált páronkénti összehasonlításának eredményei a három képtípus esetében.	119